

文章编号: 1674-8190(2023)01-151-06

联合航空811号班机事故的适航解读

杨建元, 方翠, 赵彬

(北京航空工程技术研究中心 适航室, 北京 100076)

摘要: 航空器舱门解锁和解闭的动力源必须在飞行前与锁闭和锁定系统断开, 飞行安全关键结构件必须能承受结构限制载荷和极限载荷, 基于风险管理的航空器持续适航事件监控方法需要有充分的使用监测数据作支撑, 结合实际案例对适航要求进行解读, 对航空器舱门研制和航空器持续适航研究人员有一定的借鉴作用。基于此, 通过解读美国联合航空811号班机事故调查报告, 依据国内有关适航规章和规范性文件, 采用分析解读的方法研究该事故暴露的问题。结果表明: 811号班机前货舱舱门锁闭的驱动系统设计, 不符合必须在飞行前与锁闭断开并且在飞行中不能给舱门恢复动力的适航要求; 前货舱舱门的L形固定器设计, 不符合适航规章中关于载荷设计及其验证的规定要求; 美国联邦航空管理局关于航空器前货舱舱门飞行中意外打开的安全性影响和适航风险水平的评估出现了失误。

关键词: 适航; 联合航空811号班机事故; 航空器舱门; 持续适航事件监控

中图分类号: V221⁺.91; V328.2

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2023.01.18

Airworthiness analysis of the United Airlines Flight 811 accident

YANG Jianyuan, FANG Cui, ZHAO Bin

(Airworthiness Office, Beijing Aeronautical Technology Research Center, Beijing 100076, China)

Abstract: All sources of power which can initiate unlocking or unlatching of any cabin doors must be isolated from the latching and locking systems prior to flight, and the key structural parts of flight safety must be able to bear the structural limit loads and ultimate loads, and the method of continuous airworthiness event monitoring based on risk management must depend on the adequate of monitoring data. The airworthiness requirements are interpreted in combination with actual cases, which has a certain referent to aircraft cabin door researchers and aircraft continuous airworthiness researchers. Based on this, taking the accident investigation report of United Airlines Flight 811 as the blueprint, and according to the current domestic airworthiness regulations and normative documents, the method of analytical interpretation is used to study the exposed problems. The results show that the design of the driving system of the front cargo compartment latch of Flight 811 did not meet the airworthiness requirements that it was necessary to disconnect the latch before flight and could not restore power to the cabin door during flight. The design of L-shaped anchor for the front cargo hold door of Flight 811 did not meet the requirements of load design and verification in airworthiness regulations. FAA made mistakes in its assessment of the safety impact and airworthiness risk level of the opening of the front cargo hold door of the aircraft in flight.

Key words: airworthiness; United Airlines Flight 811 accident; cabin door; continuous airworthiness event monitoring

收稿日期: 2022-02-11; 修回日期: 2022-04-11

通信作者: 杨建元, yangjianyuan396@163.com

引用格式: 杨建元, 方翠, 赵彬. 联合航空811号班机事故的适航解读[J]. 航空工程进展, 2023, 14(1): 151-156.

YANG Jianyuan, FANG Cui, ZHAO Bin. Airworthiness analysis of the United Airlines Flight 811 accident[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2023, 14(1): 151-156. (in Chinese)

0 引言

1989年2月24日,发生了一起严重的飞行事故,美国联合航空811号班机的前货舱舱门在空中掉落,9名乘客被吸出客舱坠入太平洋,此次事故的主要原因是前货舱门存在设计缺陷,但在事故调查过程中却发现两个设计缺陷早在1975年和1987年分别暴露。为什么飞机仍能带缺陷飞行这么久,这引起乘客和遇难者家属的强烈不满^[1]。

深入研究此次事故暴露的问题具有现实意义。一方面,2020年发生过因舱门研制缺陷而导致的征候,需要结合历史经验再次深刻认识舱门研制的挑战问题;另一方面,国内外正在积极研究推进基于风险管理的航空器持续适航事件监控方法,需要结合历史经验积极规避风险管理可能带来的风险问题。国内,中国民用航空局航空器适航审定司编制下发了《型号合格证持有人持续适航体系的要求》^[2];孙缨军等^[3]结合国内民用飞机实践应用成果进一步研究发展了持续适航事件监控的理念、思路和方法;邢广华等^[4]对运输类飞机持续适航事件原因分析的方法、流程开展了研究;丁晓宇等^[5]对适航指令的符合性时间进行了初步分析;郭鑫^[6]、林桂平^[7]、王冠茹等^[8]对民用飞机持续适航事件风险评估方法、流程、事件收集方法和风险评估流程等进行了研究;邓憬照^[9]以X航油供应站为例开展了支线机场航油安全风险评估研究。国外,T. Filburn^[10]结合联合航空811号班机事故研究了爆炸性减压的影响;D. Riosinsua等^[11]提供了一个国家航空安全风险管理决策的框架;I. Ostroumov等^[12]建立了考虑导航系统误差、飞行技术误差和罕见事件影响的航空风险评估组合模型;J. S. Huan等^[13]采用一种扩展危险回归模型评估事件发生的概率。

本文通过解读美国联合航空811号班机事故调查报告^[14],依据当前中国民用航空局的有关适航要求,从舱门驱动的动力源控制要求、飞行安全结构重要件的强度要求、持续适航事件监控的适航风险分析评估要求三方面解读该事故,以供航空工作人员参考借鉴。20世纪80年代美国民航局的具体适航规定,不是本文研究的重点和事故解读的依据。

1 事故简介及事故原因

1.1 事故简介

1989年2月24日,美国联合航空公司811号班机正在高空飞行时,前货舱门突然爆裂,撕裂了右前侧机身,9名乘客被吸出客舱坠入太平洋,随后机组紧急迫降在檀香山机场,除了在空中罹难的9名乘客,其他人安然无恙^[13]。

1.2 事故原因

美国国家运输安全委员会认定,这起事故的可能原因是飞行中前下货舱门突然打开,随后发生爆炸性减压。舱门突然打开的原因是舱门控制系统中的开关或线路故障,该系统在首次舱门关闭后和飞机起飞前将舱门锁的电气驱动转向解锁位置。导致事故的原因是货舱门锁机构的设计缺陷,这使得它们容易变形,从而使舱门在正确锁闭和锁定后解锁。1987年泛美航空公司B-747客机发生货舱门打开事件后,波音公司和美国联邦航空局没有及时采取纠正措施,这也是造成事故的原因之一^[14]。

2 适航解读

该事故引出的适航启示主要包括防止航空器舱门飞行中意外开启的适航要求以及航空器故障、失效或缺陷等问题解决时限的适航要求。本文依据中国民航局现行有关适航规定对这两方面内容进行分析解读。

2.1 前货舱舱门空中意外开启是事故发生的主要原因

联合航空811号班机空中飞行过程中,前货舱舱门的C形锁闭在电驱动力作用下非正常开启转动,并将L形固定器推离其正常工作位置,使得前货舱舱门在空中意外开启。前货舱舱门空中意外开启是事故发生的主要原因。

调查发现,飞机前货舱舱门的原始设计存在问题。前货舱舱门的关闭锁定原理如图1所示,C形锁闭旋转扣住固定在舱门上的横杆后,C形锁闭的开口被L形固定器挡住,用于防止锁闭意外

转动开启,如此完成舱门的锁闭和锁定。该设计存在两方面的问题:一是驱动舱门转动的动力源在空中仍处于接通状态,二是L形固定器的强度不足。

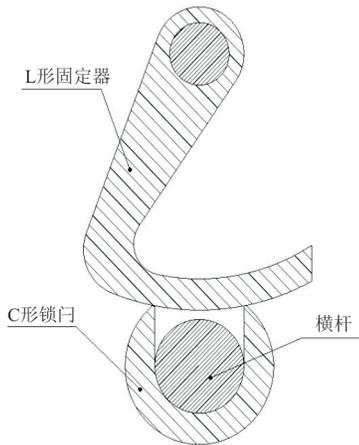


图1 前货舱舱门的关闭锁定原理图
Fig. 1 Schematic diagram of closing and locking of front cargo door

2.1.1 驱动舱门转动的动力源在空中仍处于接通状态

为防止机身舱门在空中意外开启,《运输类飞机适航标准》CCAR25.783(a)中条款(4)规定:“所有起动机解锁和解闭的动力源必须在飞行前自动与锁闭和锁定系统断开,并且在飞行中不能给门恢复动力”^[15]。失事飞机的前货舱舱门不符合该规定要求。

原设计中,希望将驱动前货舱舱门解锁的动力源与舱门外操纵把手的动作可靠地关联起来,使得舱门外把手关闭的同时能够可靠地断开驱动C形锁闭转动的马达的电源,从而符合CCAR25.783(a)中条款(4)的规定要求。但实际结果证明该项设计没有达到预期的目的。

1987年,泛美航空的一架飞机发生了舱门意外开启的征候。泛美航空事后指出舱门S2主控锁开关有一项瑕疵,无法在舱门外把手关闭时关掉舱门电源,此推断在随后的地面测试中得到了证明。由于各种原因,飞机制造商和局方对此问题没有给予正确的判断和足够的重视,问题没有及时解决,导致此次事故的发生。

2.1.2 L形固定器的强度不足

如前所述,L形固定器是C形锁闭位置锁定的元件,是防止舱门意外开启的重要保证。为了可

靠地实现此功能,L形固定器的强度应能承受C形锁闭转动时作用在其上的载荷。

根据CCAR25.301~25.307,L形固定器的强度要求需要用限制载荷(服役中预期的最大载荷)和极限载荷(限制载荷乘以规定的安全系数1.5)来规定;在限制载荷作用下,L形固定器无有害的永久变形;在极限载荷作用下,L形固定器至少3s不破坏;L形固定器的强度应通过极限载荷静力试验来表明^[15]。但是,该型机服役中暴露出的问题表明,L型固定器的研制不符合上述规定要求。

早在1975年,制造商已经发现了L形固定器强度不足的问题,当时的解决办法是将L形固定器的材料厚度增加一倍^[1]。实际上,这样改进的L形固定器强度仍然不够。1987年泛美航空公司发生货舱门打开事件后检查发现,所有L形固定器不是变形就是断裂^[1]。因此,制造商和局方均要求将L形固定器的材料由铝合金换成钢^[1,16]。遗憾的是,制造商和局方对此缺陷的危害性始终认识不足,很多飞机在没有更换L形固定器的条件下长期飞行,这样舱门意外开启的风险持续增加,最终导致811号班机事故的发生^[1,14]。

2.2 暴露出来的舱门缺陷迟迟没有解决

1975年发现L形固定器强度不足的问题^[1],1987年发现驱动舱门转动的动力源在空中仍处于接通状态的问题,但是为什么航空公司的飞机可以不执行制造商的改进建议,局方为什么要求航空公司在18个月内更换L形固定器,联合航空811班机事故后,货舱门的改装期限从18个月缩短为30天,依据又是什么?上述困惑可以从服务通报和适航指令的使用管理要求、持续适航事件的监控要求两方面进行分析解读。

2.2.1 服务通告和适航指令的使用管理要求

服务通告是航空产品设计、生产厂家根据自身和用户信息,对所生产的航空产品改进其可靠性或使用的安全性,是对用户的一种技术服务措施和对自身生产技术改进的要求,通告是对航空产品实施检查、重复检查、改装或使用寿命更改等的技术要求^[17]。

服务通告一般是指制造商对飞机现有的小缺陷下发的一种“修理”,下发原因可能是航空公司

在运营飞机时发现某一部件或结构存在缺陷,制造商针对此会下发通告。当然服务通告下发的原因也不仅限于航空公司的运营反馈。服务通告下发时,制造商也会将此通告分成各个等级,比如紧急、客户决定等级别,具体要不要执行由客户评估决定。

产品整个使用寿命中,制造缺陷、服务的变化、设计的提升经常会在后期出现。当有以上内容情况发生时,制造商会经常以服务通告的形式将相关的信息发送给飞机使用者。服务通告是极为重要的信息,飞机的使用者应该给予充分的考虑。需要注意的是,服务通告并不是强制性的,飞机使用者有权选择不采取相应的措施。但是当制造商的服务通告被民航当局转化为适航指令,或者是转化为被批准的检查程序时,服务通告必须被执行。服务通告审批流程如图 2 所示。

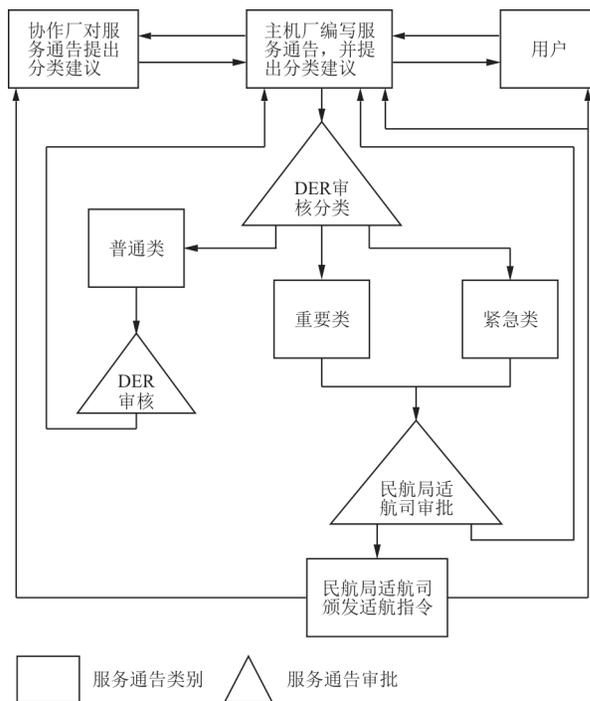


图 2 服务通告的审批流程^[17]

Fig. 2 Approval process of service bulletins^[17]

适航指令是由适航管理当局颁发的强制性检查要求、改正措施或使用限制^[18-19]。每一份适航指令都是 CCAR39 部法规的一个修正案,具有法规同等效力^[18-19]。适航指令涉及的航空器,在规定的时间内如未达到该适航指令要求,相关航空器将

不再适航^[18]。因此,适航指令是局方下发的法规要求,对飞机使用者来讲,必须执行。

1975 年制造商发现 L 形固定器强度不足的问题后,建议航空公司将原 L 形固定器更换为厚度增加一倍的新 L 形固定器,但是局方并未将此要求转换成适航指令。因此,有些飞机仍能长期使用原 L 形固定器而不被禁飞^[1]。

2.2.2 持续适航事件监控原理

安全是一种状态,是相对的,没有绝对的安全,只有可以接受的安全性水平。对于大型民用航空器,可以接受的安全性水平为发生灾难性事故的概率不高于 $1 \times 10^{-7}/\text{fh}$,此即适航风险水平目标值,是飞机设计所必须遵循的最大风险水平^[2-3]。任何基于风险成本或者其他方面的考虑都不能违反这个安全要求。

对于特定型号的航空器,由于适航标准、设计、制造等方面的缺陷以及意料之外的操作条件、环境条件等因素,航空器可能会发生一些影响安全的故障、失效或缺陷等持续适航事件,使得航空器实际的适航风险水平在一个范围内变动。因此,有必要对这些会增加风险水平的状态进行监控,在实际的风险水平超出预先确定的警戒线之前,采取改正/改进措施,从而将适航风险水平控制在适当的范围内^[2-3,5,9]。这就是持续适航事件监控。

适航风险控制的目标是及时消除或者减小潜在的会显著增加适航风险水平的紧急状况,采取必要的改正/改进措施。除非飞机停飞,采取改正/改进措施需要一定时间,在这段时间内实际适航风险水平可能会增加,如果不加以控制,甚至会超出适航风险水平的目标值^[2-3,5,9]。因此,需要建立合理的判定方法来控制实际适航风险水平的增加。

局方推荐的一种控制适航风险水平的方法如图 3 所示,该方法将飞机的“全寿命”平均适航风险(即适航风险水平目标值)分为基本设计风险和允许增加的风险两部分。其中 75% 为基本设计风险,其余 25% 为允许增加的风险,用于单架飞机在

整个寿命内无法预料的各种情形。

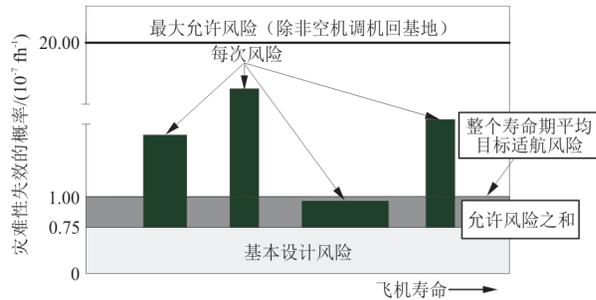


图 3 控制适航风险水平的方法^[2-3]

Fig. 3 Method of controlling traffic risk level^[2-3]

调查显示,上述 25% 的允许风险在一架飞机整个寿命期内会出现 10 次^[2]。因此,对于大型民用航空器, 1×10^{-7} 的适航风险水平对应飞机 2.5% 的寿命; 5×10^{-7} 的适航风险水平对应飞机 0.5% 的寿命; 1×10^{-6} 的适航风险水平对应飞机 0.25% 的寿命; 1×10^{-5} 的适航风险水平对应飞机 0.025% 的寿命。假定典型的飞机设计寿命为 60 000 h 及年利用率为 3 000 h,则可以建立为了达到建议的风险控制目标,缺陷应当完成改正期限的“反应表”,如表 1 所示。

表 1 改正/改进措施的时间限制表^[2-3]

Table 1 Time limit of corrective/improvement measures^[2-3]

考虑缺陷对飞机造成灾难事件的概率/h ⁻¹	飞机有风险时的平均反应时间/h	基于日历时间/月
4×10^{-8}	3 750	15
5×10^{-8}	3 000	12
1×10^{-7}	1 500	6
2×10^{-7}	750	3
5×10^{-7}	300	6
1×10^{-6}	150	3
1×10^{-5}	15	返场

1987 年泛美航空的一架飞机舱门飞行中意外开启事件发生后,型号合格证持有人和局方按照上述风险控制策略给出了 18 个月内改正的要求。联合航空 811 班机事故发生后,舱门意外打开的风险增加,型号合格证持有人和局方按照新的风险判断结果给出了 30 天内改正的要求。可以看出,进行适航风险控制时,需要准确判定适航风险水

平及飞机利用率,支持数据不足时应适当偏保守处理,否则就可能带来不可接受的后果。

3 结 论

(1) 航空器研制过程中,需要重点关注新的设计细节,需要进行充分的验证。美国联合航空 811 号班机事故表明,该型飞机研制过程中,对前货舱舱门锁闭和锁定的适航验证工作,存在一定的不足。

(2) 在基于风险控制方法推进航空器持续适航事件监控体系的过程中,需要高度重视对航空器适航风险水平的评估结果,在支持数据不够充分时建议偏保守处理。

参 考 文 献

[1] 爱奇艺. 空中浩劫 S01.02. 联合航空 811 号班机 [EB/OL]. [2022-02-11]. https://www.iqiyi.com/w_19rrlfr-flh.html.
I QIYI. Air havoc s01.02. United Airlines Flight 811 [EB/OL]. [2022-02-11]. https://www.iqiyi.com/w_19rrlfr-flh.html. (in Chinese)

[2] 中国民用航空局航空器适航审定司. 型号合格证持有人持续适航体系的要求: AC-21-AA-2013-19[S]. 北京: 中国民用航空局航空器适航审定司, 2013.
Airworthiness Certification Department of Civil Aviation Administration of China. Requirements for the continuous airworthiness system of the holder of the model certificate: AC-21-AA-2013-19 [S]. Beijing: Airworthiness Certification Department of Civil Aviation Administration of China, 2013. (in Chinese)

[3] 孙缨军, 王焯, 蔡景, 等. 持续适航导论[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2020.
SUN Yingjun, WANG Ye, CAI Jing, et al. Introduction to continuous airworthiness [M]. Beijing: Beihang University Press, 2020. (in Chinese)

[4] 邢广华, 鲍晗, 左洪福. 运输类飞机持续适航事件根原因分析[J]. 南京航空航天大学学报, 2018, 50(6): 842-847.
XING Guanghua, BAO Han, ZUO Hongfu. RCA for continued airworthiness events of transport category airplane [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2018, 50(6): 842-847. (in Chinese)

[5] 丁晓宇, 刘明, 吕忠. 中、欧适航指令标准化管理技术对比分析[J]. 航空标准化与质量, 2013(6): 19-21.
DING Xiaoyu, LIU Ming, LYU Zhong. Comparative analysis of standardization management technology of airworthiness directives between China and Europe [J]. Aviation

- Standardization and Quality, 2013(6): 19-21. (in Chinese)
- [6] 郭鑫. 民用飞机持续适航事件风险评估研究[J]. 科技视界, 2016(17): 17-18.
GUO Xin. Study on risk assessment of civil aircraft continuous airworthiness event [J]. Science and Technology Vision, 2016(17): 17-18. (in Chinese)
- [7] 林桂平. 民机持续适航事件收集研究概述[J]. 科技视界, 2016(25): 13,10.
LIN Guiping. Summary of civil aircraft continuous airworthiness event collection and research[J]. Science and Technology Vision, 2016(25): 13,10. (in Chinese)
- [8] 王冠茹, 孙有朝, 李龙彪, 等. 民机持续适航事件风险评估流程研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2012(3): 29-32, 72.
WANG Guanru, SUN Youchao, LI Longbiao, et al. Study on risk assessment process of civil airworthiness incident [J]. Civil Aircraft Design and Research, 2012(3): 29-32, 72. (in Chinese)
- [9] 邓憬照. 支线航油安全风险研究——以X航油供应站为例[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
DENG Jingzhao. Research about risk assessment of regional airport aviation oil supplier-based on safety evaluation of X fuel station[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015. (in Chinese)
- [10] FILBURN T. Cabin pressurization accident[M]// Commercial aviation in the jet era and the systems that make it possible. America: [s. n.], 2019: 135-143.
- [11] RIOSINSUA D, ALFARO C, GOMEZ J, et al. A framework for risk management decisions in aviation safety at state level[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2018, 179: 74-82.
- [12] OSTROUMOV I, MARAIS K, KUZMENKO N, et al. Triple probability density distribution model in the task of aviation risk assessment [J]. Aviation, 2020, 24(2): 57-65.
- [13] HUAN J S, HWA K, IA K, et al. Using extended hazard regression model to assess the probability of aviation event [J]. Applied Mathematics and Computation, 2018, 21: 10647-10655.
- [14] National Transportation Safety Board. Explosive decompression-loss of cargo door in flight, United Airlines Flight 811, Boeing 747-122, N4713U, Honolulu Hawa II : NTSB/AAR-92/02 [R]. America: National Transportation Safety Board, 1992.
- [15] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准: CCAR-25-R4 [S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
Civil Aviation Administration of China. Airworthiness standards of transport category aircraft: CCAR-25-R4[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [16] National Transportation Safety Board. Safety recommendation: A-89-92-94 [R]. America: National Transportation Safety Board, 1989.
- [17] 中国民用航空局. 关于国产民用航空产品服务通告管理规定: AP-21-02[S]. 北京: 中国民用航空局, 1988.
Civil Aviation Administration of China. Regulations on the administration of service announcements of domestic civil aviation products: AP-21-02[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 1988. (in Chinese)
- [18] 中国民用航空局航空器适航审定司. 适航指令的颁发和管理程序: AP-39-01R1[S]. 北京: 中国民用航空局航空器适航审定司, 2006.
Airworthiness Certification Department of Civil Aviation Administration of China. Issuance and management procedures of airworthiness instructions: AP-39-01R1 [S]. Beijing: Airworthiness Certification Department of Civil Aviation Administration of China, 2006. (in Chinese)
- [19] 方天柱, 马骏. 适航文件管理信息系统研究与开发[J]. 航空维修与工程, 2021(5): 74-76.
FANG Tianzhu, MA Jun. Research and development of airworthiness document management information system [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2021(5): 74-76. (in Chinese)

作者简介:

杨建元(1972—),男,博士,副研究员。主要研究方向:航空器适航。

方 翠(1987—),女,博士,工程师。主要研究方向:航空器适航。

赵 彬(1976—),女,硕士,工程师。主要研究方向:航空器适航。

(编辑:丛艳娟)