

活塞式发动机故障诊断 技能培训教程

丁发军 麦海波 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

前 言

通用飞机广泛应用于播种、护林、救援、人工增雨、气象探测等方面，在国民经济中起着非常重要的作用。目前，全球通用飞机约 30 多万架，其中美国拥有 22.6 万架，欧盟、加拿大、巴西等国家拥有万架以上，我国通用飞机约有 1 200 架；美国 2010 年通用飞机年飞行时间约为 2 400 万小时，我国通用飞机年飞行时间约为 30 多万小时，约为美国的 1%。随着我国通用航空的快速发展，据中国通用航空专家委员会预计，到 2015 年，我国需要各类通用飞机约 5 840 架，到 2020 年需要各类通用飞机约 10 260 架。

自 2008 年以来，我国通用航空经历了南方冰冻雨雪灾害，汶川、玉树和芦山等严重地震灾害，奥运会、残奥会保障以及金融危机的考验，为我国抗震救灾和支援保障等做出了重要贡献，社会各界对通用航空有了更多、更高层次的认识和了解。2009 年，全国人大和全国政协共提出涉及通用航空发展的提案及建议共 17 件，国家亦制定了低空开放的有利于通航产业大发展的新政，加快发展通用航空已开始成为有关方面的广泛共识。

除了公务机等少数高档小型通用飞机之外，通用航空飞机装用的多为活塞式发动机，而 Lycoming 发动机是我国乃至全球通用航空领域中装机数量最多的航空活塞发动机。美国 Textron 集团下属的 Lycoming 航空活塞发动机公司是全球最大的航空活塞发动机生产厂家之一，迄今已生产超过 325 000 台各型航空活塞发动机，该发动机主要特点是结构简单、性能优良、维护方便、TBO（翻修时间间隔）长，因此在全球通用航空领域有超过 50% 以上的固定翼飞机和旋翼飞机选取 Lycoming 发动机作为其动力装置。

活塞式发动机的维护和维修伴随着通用飞机投入运行的全生命周期，它是保持飞机的安全性和可靠性、降低突发性故障的发生率、延长飞机使用寿命的重要保障。目前，国内外对于航空活塞式发动机的维护和维修主要是基于由事件主宰的维修（即事后维修）和时间相关的维修（即定时维修），权威且获得 Lycoming 工厂授权的维修厂家和单位全球也仅有为数不多的几家，发动机核心部件深度修理技术主要掌握在国外一两家维修单位手中。

中国民航飞行学院现装用 Lycoming 发动机的飞机达 202 架，有 5 个飞行训练分院、5 个机场，地跨 2 省 6 市，维护该型发动机有接近 30 年的历史，其下属的

飞机修理厂是国内唯一一家获得 Lycoming 发动机工厂授权的 Lycoming 活塞式发动机翻修厂家,已为民航飞行学院、泛美航校、佳木斯农垦、广东通航、白云通航、山东九天等四十余家通航用户提供了各级发动机维修和技术咨询服务,翻修各型 Lycoming 发动机超过 400 台,积累和形成了丰富、翔实的发动机及其部附件的故障资料和排故技术及技巧。目前,国外对 Lycoming 系列发动机维修方面的基础知识已经进行了充分的研究,形成了大量的技术文献和资料,但中国民航飞行学院多年来以远超世界上其他用户的高频率、高强度地使用 Lycoming 发动机,以实际飞行暴露了该发动机的诸多问题,这在国外是极为罕见的。例如,发动机配重组件失效故障、燃油喷射器垫片磨损等,国外文献鲜有报道。这一系列的成果,不仅得到了学院飞行训练保障实践的检验,也得到了 Lycoming 发动机制造厂家的重视和采纳,并将有关经验和教训在全球范围内加以推广和应用。

本书结合飞行学院飞机修理厂多年来总结和积累的 Lycoming 活塞式发动机故障及其排除方法和经验,完全采用实物和实例的形式,针对该型发动机多发性和突发性故障,从故障现象入手,经过机理分析,找出故障存在和发生的根源,逐一排除和解决故障,并根据多年来的使用和维护经验,提出有针对性的预防和控制措施。本书基本涵盖了 Lycoming 活塞式发动机及其部附件截至到目前为止在全世界范围内发生过的所有多发性或重大故障,其中有很多故障是该型发动机及其部附件首次出现的且发生在飞行学院的故障,有着血的经验和教训,对业内同行可以起到很好的借鉴和学习作用,也可为我国的通用航空产业健康和平稳发展起到良好的推动作用。

本书由丁发军、麦海波编著,丁发军负责统稿和校对工作,常虎山、侯甲栋、刘堃等参与了本书部分章节的编写和校对工作。本书在编写过程中得到了中国民航飞行学院飞标处、机务处、航安办等部门领导、飞机修理厂赵成荣厂长、各分院机务同仁和飞行教官、澳大利亚霍克·太平洋发动机公司技术服务代表 McHardy Adrian 先生以及 Lycoming 发动机翻修车间代友军副主任等专家的支持和热情帮助,我们谨在此一并表示衷心的感谢。

如果本书对读者有所帮助,我们将感到万分荣幸。另外,由于编者知识水平有限,书中难免存在不妥之处,诚心地希望广大读者提出批评和指正。

本书适用性强,可作为通用航空机务维护人员培训教材,也可供民航、空军和通航从事动力装置研究、设计、生产使用、管理和维修等的工程技术人员参考,也可供航空爱好者学习和阅读。

编 者

2013 年 5 月

目 录

第一章 莱康明发动机概述	1
第一节 莱康明 IO-360 及相关型号发动机简介	1
第二节 发动机主要性能参数	3
第二章 主要机件故障诊断	13
第一节 汽缸活塞组件	13
第二节 连杆曲轴组件	17
第三节 气门机构	22
第四节 机 匣	31
第五节 主要机件的检查与维护	34
第三章 燃油系统故障诊断	39
第一节 燃油调节器	39
第二节 汽化器	55
第三节 燃油分配器	62
第四节 燃油系统其他故障	66
第五节 燃油调节装置的调整	68
第六节 燃油系统的检查	73
第四章 点火系统故障诊断	74
第一节 点火系统常见组成	74
第二节 点火系统常见故障	77
第三节 点火系统维护	81
参考文献	90

第一章 莱康明发动机概述

莱康明系列活塞发动机作为 TB20、TB200、PA-44-180 以及 Cessna172R 等飞机的动力装置，以其高可靠性和低燃油消耗率在通用航空活塞发动机领域占据着重要的地位，其型号主要有 O/IO-360、O/IO-540 以及 IO-720 等系列。本章主要以 Lycoming IO-360 系列活塞式发动机为例介绍活塞发动机的基本结构和主要性能。

第一节 莱康明 IO-360 及相关型号发动机简介

莱康明 O、HO、IO、AIO、HIO、LIO 和 TIO-360 系列是四缸直接驱动、水平对置气冷式发动机，如图 1.1 所示。

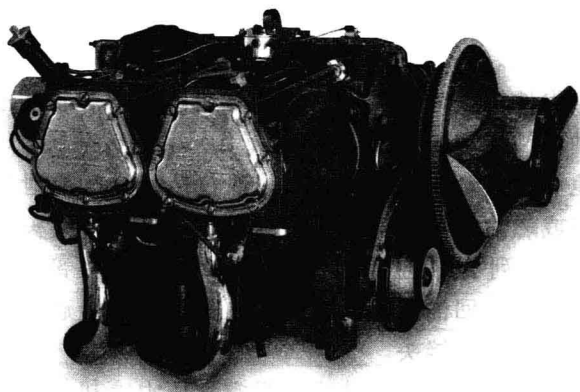


图 1.1 莱康明 IO-360 系列发动机

莱康明发动机型号中的前缀字母“O”表示汽缸排列方式是对置式；“H”表示是直升机使用的；“I”表示燃油是直喷式的；“L”表示转动方向与基本型相反，例如，IO-360-C 型发动机的曲轴是顺时针转动，因此，LIO-360-C 型发动机的曲轴就是反时针转动；“T”表示发动机是涡轮增压的。型号后缀

中的第四或第五个字母“D”表示采用了在一个单机匣中安装双磁电机的特殊型号。例如，有关 O-360-A1F6 的所有资料也都适用于 O-360-A1F6D，发动机的工作状况相同，基本型发动机的性能曲线和技术规范也同样适用。

汽缸：汽缸是普通的气冷结构，有两个主要部分——汽缸头和汽缸筒，经过旋压成为一体。缸头由铝合金铸成，有一个彻底加工过的燃烧室。摇臂轴轴承座与缸头以及机匣整体浇铸，形成摇臂室。汽缸筒有很深的整体散热片。缸筒内部经研磨后达到规定的光洁度。

气门机构：一个普通的凸轮轴位于曲轴上方，这两种轴互相平行。凸轮轴推动液压挺杆，挺杆通过推杆和气门摇臂操纵气门。气门摇臂支撑在全浮式钢轴上。气门弹簧靠在淬火钢座上，被分裂式锁销卡在气门柱上。

机匣：机匣组件由两部分加强的铝合金铸件组成，用双头螺栓，螺杆和螺帽固定在一起。两块铸件配合面之间不用衬垫，并加工出主轴承孔，安装精密型主轴承衬套。

曲轴：曲轴由铬镍钼钢锻件构成，所有的轴承轴颈表面都经过氮化处理。

连杆：连杆截面呈“H”形，系合金钢锻件。连杆的曲轴端有可更换的轴承衬套，在活塞端有青铜连杆衬套。曲轴端头上的轴承盖被穿过每个轴承盖的两只螺栓和螺帽固定住。

活塞：活塞由铝合金加工而成。活塞销为全浮式，在每个活塞销端头上都有一个堵塞。根据汽缸组件，活塞可以加工成三个或四个环，可以采用半楔形或全楔形环。详细介绍请查阅最新版的服务说明 SI 1037 号中有关活塞与活塞环的组合情况。

附件机匣：附件机匣为铝铸件，固定在机匣后部和收油池上后方，它构成滑油泵和各种附件传动的构架。

滑油收油池（除去 AIO 系列）：收油池包括一个滑油泄放堵头、滑油吸力滤网、汽化器或燃油喷嘴的安装盘、进气门和进气管接头。

机匣盖（AIO 系列）：机匣盖用在发动机的上部和下部。这些机匣盖上装有滑油吸力滤网和滑油回油管接头。上机匣盖包括一个通气管接头，下部机匣盖包括一个滑油吸力管接头。

冷却系统：这些发动机都设计成依靠空气压力冷却。设置了导流片以便产生压力，从而强迫空气通过汽缸散热片。之后，空气通过整流罩后部的鱼鳞板或喷管排入大气中。

进气系统：莱康明 O-360 和 HO-360 系列发动机装有浮子式或压力型汽化器。通过中心区域的进气系统，使每个汽缸获得很好的油-气混合分配。进气系统与滑油收油池形成整体，并浸入滑油中。以保证更均匀的燃油气化作用，并对收油池

中的滑油进行冷却。通过进气口，混合油气经各个进气管分配到每个汽缸。

莱康明 IO-360、AIO-360、HIO-360 和 TIO-360 系列发动机装有下列本迪克斯（Bendix）型 RSA 燃油喷射器，但 IO-360-B1A 型除外，这种发动机装的是西蒙兹 530 型燃油喷射器。燃油喷射系统按气流成正比例调节燃油流量，在进气口中发生燃油气化作用。作为 TIO-360 系列发动机的一个整体部分，安装了一个涡轮增压器。自动废气门操纵涡轮增压器，从海平面到临界高度向燃油喷嘴进口提供恒定的空气密度。

润滑系统（除 AIO-360 系统以外的所有型号）——全压湿机匣收油池润滑系统由附件机匣中的叶轮泵驱动。

AIO-360 系列：AIO-360 系列是为特技飞行而设计的，为干收油池型。附件机匣上装有复式回油泵。

起动注油系统：采用汽化器的所有发动机都装有起动注油系统。燃油注入式发动机则不需要这种系统。

点火系统：两个本迪克斯磁电机提供双重点火。

配重系统：型号字母中的后缀数字为 6，例如，O-360-A1G6 表明曲轴具有摆动式配重。

第二节 发动机主要性能参数

各类型发动机的主要性能参数见表 1.1 ~ 1.19。

表 1.1 O-360-A、O-360-C、O-360-F 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	286
额定功率（马力）	180
额定转速（r/min）	2 700
汽缸内径（英寸）	5.125
行程（英寸）	4.375
汽缸工作容积（立方英寸）	361.0
压缩比	8.5 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度（BTC）	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向（从后看）	Clockwise

表 1.2 O-360-B, O-360-D 系列系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	286
额定功率 (马力)	168
额定转速 (RPM)	2 700
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	7.2 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.3 O-360-J2A 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	286
额定功率 (马力)	145
额定转速 (RPM)	2 400 ~ 2 700
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	3.875
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.5 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.4 HO-360-A、HO-360-C 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	286
额定功率 (马力)	180
额定转速 (RPM)	2 700
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.5 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.5 HO-360-B 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	286
额定功率 (马力)	180
额定转速 (RPM)	2 900
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.5 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.6 IO-360-L2A*系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	160
额定转速 (RPM)	2 400
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.5 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.7 IO-360-B1G6、IO-360-B1G6-M1A*系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	180
额定转速 (RPM)	2 700
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.5 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.8 IO-360-C1G6 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	200
额定转速 (RPM)	2 700
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.7 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.9 IO-360-A、IO-360-C、IO-360-D、IO-360-J、IO-360-K 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	200
额定转速 (RPM)	2 700
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.7 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.10 IO-360-A、IO-360-E、IO-360-F 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	180
额定转速 (RPM)	2 700
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.5 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25*
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.11 AIO-360-A、AIO-360-B 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	200
额定转速 (RPM)	2700
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.7 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.12 HIO-360-A、HIO-360-B 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	180
额定转速 (RPM)	2 900
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.7 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.13 HIO-360-C 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	205
额定转速 (RPM)	2 900
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.7 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	25
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.14 HIO-360-D 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	190
额定转速 (RPM)	3 200
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	10.0 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	20
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.15 HIO-360-E 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	190
额定转速 (RPM)	2 900
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.1 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	20
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.16 HIO-360-F1AD 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E10
额定功率 (马力)	190
额定转速 (RPM)	3 050
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	8.0 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	20
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.17 TIO-360-A 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	E16EA
额定功率 (马力)	200
额定转速 (RPM)	2 575
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	7.3 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	20
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.18 TIO-360-C 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	E16EA
额定功率 (马力)	210
额定转速 (RPM)	2 575
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	361.0
压缩比	7.3 : 1
点火次序	1—3—2—4
火花发生度 (BTC)	20
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

表 1.19 IO-540-C 系列发动机性能参数

FAA 型号合格证	1E4
额定功率 (马力)	250
额定转速 (RPM)	2 575
汽缸内径 (英寸)	5.125
行程 (英寸)	4.375
汽缸工作容积 (立方英寸)	541.5
压缩比	8.5 : 1
点火次序	1—4—5—2—3—6
火花发生度 (BTC)	20
气门间隙	0.028 ~ 0.080
螺旋桨驱动比	1 : 1
螺旋桨旋转方向 (从后看)	Clockwise

第二章 主要机件故障诊断

第一节 汽缸活塞组件

一、活塞异常磨损

发动机型号：IO-360-M1A。

故障描述：某用户的莱康明 IO-360-M1A 发动机在使用中，工作者发现某一汽缸的电嘴很容易污染，并且在对该汽缸进行压缩性测试时发现压力值偏低。拆下汽缸检查后，发现该汽缸的活塞壁有严重磨损，对应的汽缸壁也有严重磨损，如图 2.1 所示。这种过量的磨损使得活塞与汽缸的配合间隙过大，涨圈对滑油的密封性降低，导致汽缸压力测试值偏小，同时，机匣里的高温滑油串入燃烧室，使得电嘴被污染。



图 2.1 活塞严重磨损

故障分析：活塞与汽缸壁之间的摩擦是活塞发动机中最大的运动摩擦副，二者之间的配合有严格的要求，莱康明发动机此摩擦副主要靠泼溅的滑油进