



第1章

民用航空器维修概述

民用航空器维修工作是要保持航空器满足持续适航的要求,即保证航空器在取得适航批准投入使用之后,其运行的固有安全性与适航当局批准的在设计制造时安全标准的符合性。

从狭义上来看,民用航空器维修是指为了满足客货运输、通用航空和训练飞行等需要,及时提供技术状态良好的航空器而进行的一切活动,目的是通过各级机务人员的维护和修理,保证航空器、发动机和机载各系统及设备的完好性和适航性,使航空器能安全、环保、可靠和经济地完成各项飞行任务。

从更为广泛的角度来看,民用航空器维修是当前民航事业中一个大的系统工程,包括从航空器的选型、使用、维护、修理,一直到航空器退役全过程的监督、实施和管理,以及与其相适应配套的人员培训、考核和科研工作等。

1.1 中国民用航空器维修概况

1.1.1 中国民航维修发展史

中国民航维修的发展历程,要从“中国民航之父”冯如说起。1910年,冯如制造飞机并试飞成功,成为中国航空史上的先驱者,如图 1-1-1 所示。随后,在民国时期成立的中国航空股份有限公司(简称“中航”)和中央航空运输股份有限公司(简称“央航”)创立了飞机维修业务,当时共有 7000 多名地勤人员,为新中国成立以后的航空维修发展奠定了基础。虽然我国民航维修起步较晚,但从改革开放以来,伴随着航空业的飞速发展,民航维修也迅速成长起来,尤其是从 20 世纪 90 年代开始,我国民航维修逐步走向成熟并不断完善,维修企业不断增加,维修队伍日益壮大,维修能力不断提升,已踏入世界先进行列。

1. 机务维修队伍的建立

1949 年 11 月 2 日,新中国成立民用航空局,隶属人民革命军事委员会,揭开了中国民航维修发展的新篇章。同年 11 月 9 日,“中航”和“央航”在香港宣布起义(史称“两航”起义),共计 12 架飞机飞回祖国怀抱,其中参加起义的机务人员共有 1000 多人,成为新中国民

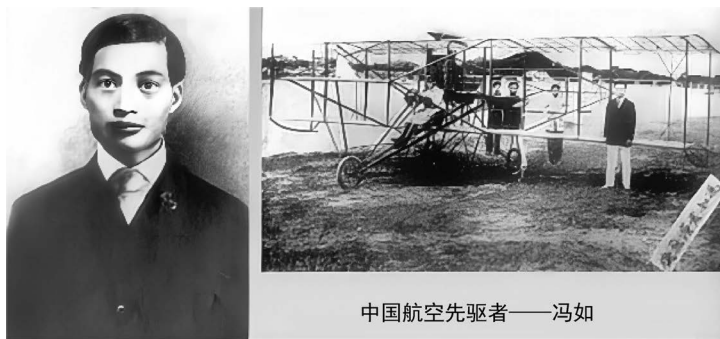


图 1-1-1 冯如和他的飞机

航事业建设中的主要技术骨干力量,他们的爱国精神,已光荣地载入了中国民航史册,如图 1-1-2 所示。

1950 年 8 月 1 日,天津经由汉口飞往重庆的首航班机“139”号,载着 14 名乘客于上午 8 时 30 分在天津机场起飞。同日上午 10 时 30 分,由毛泽东题名的“北京”号飞机从广州经汉口飞向天津,新中国民航最早的航班业务自此正式启动,史称“八一”开航,拉开了我国民航事业的序幕。

1951 年年初,军委民航局决定建设机械修理厂,并分别在太原、上海和天津成立了军委民航局太原机械修理厂、机械修理厂上海分厂和天津电讯修配所,为民航机务建设奠定了坚实的技术基础,从此中国有了较为完善的民航维修行业。

在这几年间,虽然中国民航的飞机比较老旧,但在当时的工作条件和技术水平下,维修人员仍然依靠顽强拼搏、吃苦耐劳、勇于钻研的优秀维修作风,全力保障中国民航机队能够飞起来,这也成为中国民航维修的第一个发展时期。

2. 以苏制飞机维修模式为基础的维修

1952 年,民用航空局改设为民用航空局和民用航空公司两个机构,并在天津成立中国人民航空公司,在天津张贵庄机场设有机务维修基地。

从 1956 年开始,中国民航在北京建立民用航空局北京飞机修理厂,并先后在天津、广州、重庆组建飞机修理厂,维修专业人员不断增加。同时,民航各管理处设立机务科,负责对执管飞机和过站飞机进行维护。图 1-1-3 是 1957 年时任总理周恩来在北京西郊机场检阅试飞。



图 1-1-2 “两航”起义人员飞抵天津合影



图 1-1-3 1957 年时任总理周恩来在北京西郊机场检阅试飞



1960 年年初,机务科改为由各飞行大队执管,并组建飞机修理厂。同年 11 月,中国民用航空局(Civil Aviation Administration of China,CAAC)改称中国民用航空总局,标志着民用航空成为一个独立系统,直接领导地区民用航空管理局工作。1965 年,机务科扩编为机务处,并将维修组织模式分为三个层次:外场车间的飞机维修队、内场车间的飞机维修队和飞机修理厂。到该年年末,中国民航拥有各类飞机 335 架,至此中国民航机务从人数上已经过渡到具有一定规模的专业维修队伍。

在 20 世纪 60 年代,中国民航机队主要是苏制飞机,民航维修在原苏联维修模式的基础上,经过不断探索,维修组织形式不断改变与之适应,维修能力也得到大大提升,逐步探索了中国民航的维修之路。在这个阶段,民航维修的专业分工愈加细致,技术水平得到不断提高,维修机构也逐步完善,并初步建立了规章管理制度,以提高维修质量,保障航空安全,这是中国民航维修的第二个发展时期。

3. 民航维修逐步与国际接轨

CAAC 在 1978 年成立航空工程部,恢复了民航内、外场维修工作,并由工程部统一管理。

1980 年 6 月,CAAC 在北京首都机场组建了我国第一个综合性大型航空维修基地,这是民航维修思想和维修组织的一次重大变革,从组织机构上实现了外场维护与内场维护合一,实现了生产、技术与航材保障合一,是我国民航维修适应当代航空器科技发展、向国际水平靠近的标志。图 1-1-4 为 20 世纪 80 年代机务人员正在维护运-5 飞机。



图 1-1-4 20 世纪 80 年代,机务人员维护运-5 飞机

1983 年,CAAC 颁发并于次年实施《中国民用航空机务工程条例》,提出了 32 字维修作风,建立了强有力的机务维修队伍。自 1987 年开始,民航体制进行政企分离。次年,中国国际航空股份有限公司(简称“国航”)、中国南方航空股份有限公司(简称“南航”)、中国东方航空股份有限公司(简称“东航”),即“三大航”,相继成立。

在这个时期,中国民航引进了欧美飞机,并学习了新的维修方法,民航企业进行了大规模改革,维修资源灵活调配,规章管理制度不断完善,保障安全和航班正常作为维修行业的唯一核心任务,确定了适合中国民航的维修道路,这是中国民航维修的第三个发展时期。

4. 开创民航维修新纪元

随着改革开放后允许外资企业、民营企业等多种经济体进入航空维修领域,国航与德国汉莎航空公司于 1989 年 8 月以北京维修基地为基础,合资成立北京飞机维修工程公司(Ameco)。同年 10 月,广州民航与外资合作成立广州飞机维修工程公司(Guangzhou Aircraft Maintenance Engineering Co., Lt, GAMECO)。

近 30 年,随着我国经济稳定发展,通过不断积累维修经验,吸收、创新维修技术,维修企业的维修能力不断提高。中国民航运输总量和安全水平都已经进入世界前列,航空维修行业飞速发展,并以全面推进高质量发展为目标,未来将是中国民航维修的新纪元。图 1-1-5 为我国部分航空公司机尾航徽。



图 1-1-5 我国航空公司机尾航徽

5. 国产民航飞机

随着我国在民用航空领域的技术进步和自主创新能力的提升,越来越多的国产民航飞机被设计、制造并投入运营,如新舟系列(新舟 60、新舟 600 等)、中国商飞 C919(COMAC 919,简称 C919)和 ARJ21(Advanced Regional Jet for 21st Century)等。

C919 是我国按照国际民航规章自行研制、具有自主知识产权的大型喷气式民用飞机,是我国大飞机重大专项重点型号之一(见图 1-1-6)。“C”是 China 的首字母,也是中国商飞英文缩写 COMAC 的首字母,第一个“9”寓意天长地久,“19”代表中国首型中型客机最大载客量为 190 座。C919 于 2017 年首飞。2022 年 9 月完成全部适航审定工作后获 CAAC 颁发的型号合格证书。2022 年 12 月,C919 首架飞机交付东航,2023 年 5 月,C919 完成首次商业飞行。随之,国航、南航等航空公司也陆续购买并运营 C919。C919 采用先进的气动布局 and 新一代超临界机翼等先进的气动力设计技术,可实现更好的巡航气动效率;采用先进的涡扇发动机,以降低油耗、噪声和排放;采用先进的结构设计技术及先进金属材料、大量复合材料,以减轻飞机重量;采用电传操纵系统和综合模块化航电系统,提高安全性和可靠性;采用先进的客舱综合设计技术,提高客舱舒适性;采用先进的维修理论、技术和方法,降低维修成本。C919 的设计、制造和运行标志着中国在大型客机领域的技术突破,也为中国航空产业的发展提供了新的动力。



图 1-1-6 C919 飞机

ARJ21(现更名为 C909)是中国商用飞机有限责任公司研制的涡扇支线民航飞机,它主要用于中短途的区域航线,“21”代表 21 世纪新一代支线飞机(见图 1-1-7)。ARJ21 于 2008 年 11 月完成首飞。2014 年 12 月,ARJ21-700 获得了 CAAC 颁发的型号合格证书。2015 年 11 月,首架 ARJ21 飞抵成都,交付成都航空有限公司(简称“成都航空”);2016 年 6 月正式投入商业运营飞行。2019 年 10 月,ARJ21 客机首飞国际航线。目前,成都航空、国航、南航等多家航空公司运营 ARJ21 飞机。ARJ21 是一款体现当代先进技术水平的支线客机,该



机采用先进的超临界机翼、先进动力装置和高效增升装置、综合化的“玻璃座舱”、多余度的电控飞行控制系统、综合化航电系统,具有全权限数字发动机控制器(full authority digital engine control,FADEC)系统。ARJ21-700 型支线客机可载客量为 78~90 座,标准航程型满客航程为 2225km,主要用于满足从中心城市向周边中小城市的辐射型航线的使用要求。ARJ21 可以很好地适应我国复杂的地理环境,其设计是以未来西部交通枢纽昆明长水国际机场作为设计的临界条件,并用西部地区航线来检验飞机的航线适应性,以保证在实现经济效益的条件下满足西部的高原、高温环境要求。



图 1-1-7 ARJ21 飞机

1.1.2 中国民航维修现状

根据 2022 年《中国民航维修系统资源及行业发展报告》,截至 2022 年 12 月 31 日,中国民航维修现状如下。

1. 航空公司和机队概况

截至 2022 年年底,依据《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》(CCAR-121 部)运行的航空公司共 59 家,在用大型运输航空器共 4032 架,如图 1-1-8 所示。近 5 年平均年增长率为 2.63%,其中南航、东航、国航三家航空公司占航空器总数的 40.53%,波音(Boeing)和空中客车公司(简称“空客”)两大航空器制造商依旧占据国内运输航空器 94.62% 的市场。依据《小型航空器商业运输运营人运行合格审定规则》(CCAR-135 部)运行的航空公司共 61 家,运行的各类航空器共计 300 架,近 5 年平均年增长率为 2.29%。依据《一般运行和飞行规则》(CCAR-91 部)获得通用航空经营许可证的通用航空公司共 661 家,运行的各类航空器共计 3186 架。

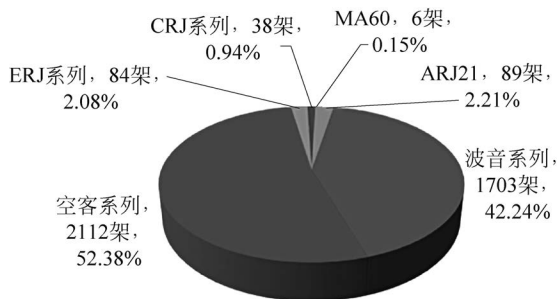


图 1-1-8 2022 年国内 CCAR-121 部运行公司机队构成情况



整个机队平均机龄为 8.82 年,于 2015 年达到谷值后呈逐年增加趋势。截至 2022 年年底,在用航空器中 10 年以下机龄占比为 65.83%;10~20 年机龄占比为 30.11%;20 年以上机龄占比为 4.06%,最大机龄为 33.34 年,为一架波音 757-21B 货机(见图 1-1-9)。

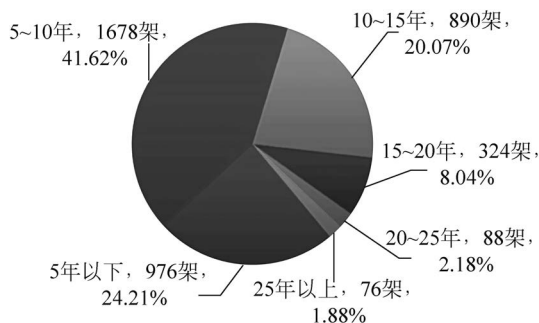


图 1-1-9 2022 年年底在用航空器数量按机龄分布

2022 年年底,按 CCAR-121 部运行的航空公司在用发动机(含运行和备份状态)总数量为 8745 台,如图 1-1-10 所示,其中 CFM56-7、CFM56-5 和 V2500 三个型号分别占总量的 31.79%、18.27% 和 13.52%,合计占比 63.58%。

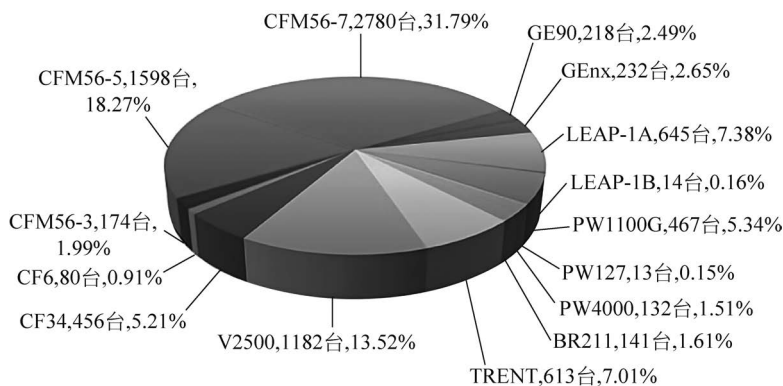


图 1-1-10 2022 年年底国内飞机各型号发动机数量分布

根据航空器使用困难报告系统统计,如图 1-1-11 所示,2022 年按 CCAR-121 部运行的航空公司共报告使用困难报告(service difficulty report,SDR)1384 起,比 2021 年减少 1003 起,增长率为-42.02%。其中,机械类 SDR 1053 起、非机械类 SDR 331 起,分别比 2021 年减少 694 起和 309 起,增长率为-39.73%和-48.28%,SDR 千时率、机械类 SDR 千时率和非机械类 SDR 千时率分别比 2021 年降低 14.15%、10.75%和 23.42%。从图中可看出,2022 年度占机械类 SDR 前三位的是飞行操纵系统(10.77%)、动力装置(8.82%)和起落架系统(8.16%)。

2. CAAC 批准或认可的维修单位概况

截至 2022 年年底,CAAC 批准的维修单位总数为 904 家,其中国外/地区维修单位为 470 家,国内维修单位为 434 家(包括 59 家运输航空公司的维修单位)。国内维修单位总数比 2021 年年底减少 57 家,增长率为-11.61%,在“多证合一”等“放管服”政策的实施下,从事航线维修的独立维修单位无需取证即可从事相关工作,使国内维修单位数量近几年有所

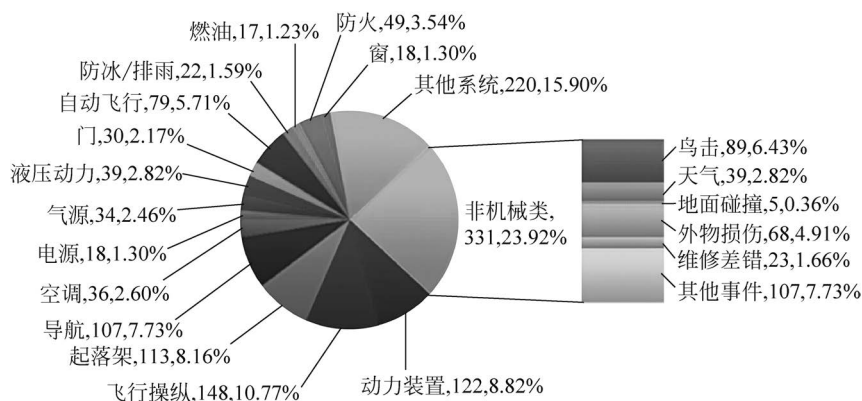


图 1-1-11 2022 年度按 CCAR-121 运行航空器 SDR 报告分布情况

降低。与 2021 年年底相比,国内 7 个地区中,除新疆地区维修单位数量不变外,其他地区维修单位数量都有所减少,如图 1-1-12 所示。

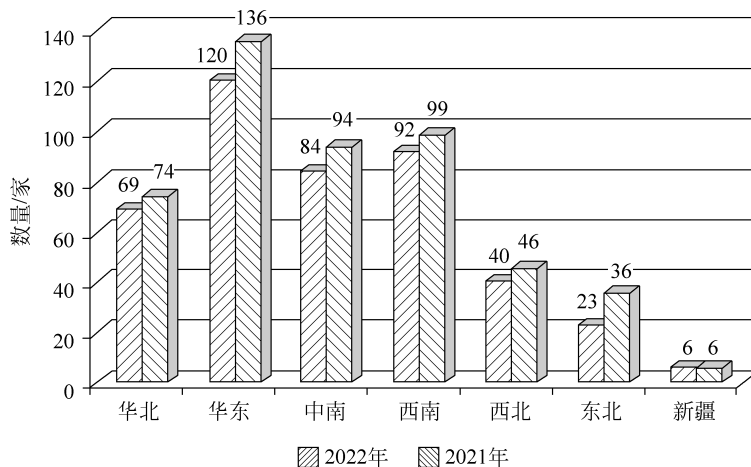


图 1-1-12 2021—2022 年国内维修单位数量对比

国内维修单位为 434 家,如图 1-1-13 所示。其中,具备机体维修能力的有 239 家,具备动力装置(发动机)维修能力的有 67 家,具备螺旋桨维修能力的有 12 家,具备部件维修能力的有 227 家,能够从事其他维修项目(如发动机更换、无损检测、孔探、整机喷漆、航空器拆解等)的有 135 家,以上部分单位分别具有多种维修能力。在机体维修方面,239 家从事机体维修项目的维修单位中,有 138 家单位仅从事机体维修项目,其中 41 家仅从事航线维修。国内维修单位具备了大部分国内在用机型最高级别定检能力,基本可以保障国内航空公司的需求,同时还承接一定量的国外第三方飞机定检维修业务。动力装置维修方面,国内 67 家单位具有发动机(含辅助动力装置(auxiliary power unit, APU))维修能力,涵盖 CFM56 系列、V2500 系列和 RB211 系列等国内运输机队主要型号发动机的维修业务。12 家从事螺旋桨项目维修的维修单位主要面向通用航空领域提供螺旋桨修理和翻修业务。227 家从事部件项目维修的维修单位中,仅从事部件维修项目的有 119 家。

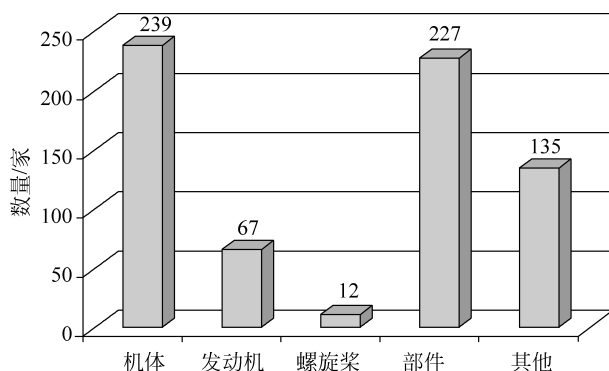


图 1-1-13 2022 年年底国内维修单位数量(按维修项目类别统计)

3. CAAC 批准的维修培训机构概况

截至 2022 年年底,CAAC 批准的通过《民用航空器维修培训机构合格审定规定》(CCAR-147)维修培训机构共 128 家,其中国内 108 家、国外 20 家,与 2021 年相比总数量净增加 5 家。2022 年,CAAC 为配合《民用航空器维修人员执照管理规则》(CCAR-66)对维修人员执照类别、考试要求等做出的修改,修订并颁发了《民用航空器维修培训机构合格审查规则》(CCAR-147R1)及 3 份相关咨询通告《维修培训机构申请指南》《航空器维修人员执照培训实施规范》和《机型、发动机型号维修培训实施规范》,对有关维修培训机构的类别、条件、培训要求等做出全面修订,以契合维修人员培训需要,更好地规范维修人员培训工作。

截至 2022 年年底,国内华东地区维修培训机构数量最多(33 家),其次是中南地区(21 家),华北和西南地区各 20 家,这 4 个地区的培训机构数量占国内总数量的 87.04%,如图 1-1-14 所示。2022 年,华东、中南和新疆地区维修培训机构数量相比 2021 年分别增长 4 家、1 家和 1 家,华北、西南、西北和东北地区维修培训机构数量与 2021 年年底数量持平。

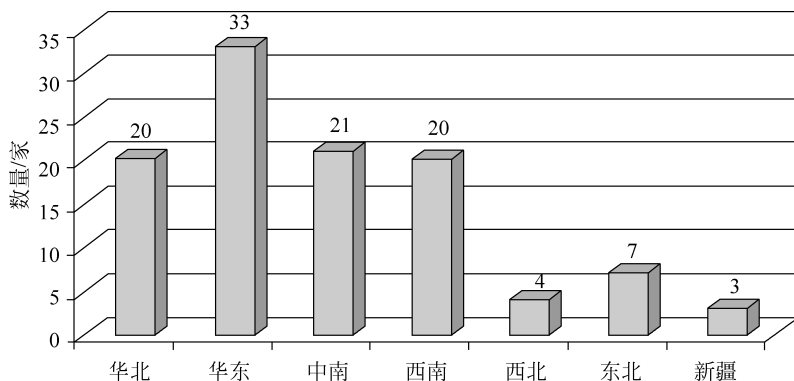


图 1-1-14 2022 年年底国内维修培训机构地域分布

4. 机务维修系统人员概况

机务维修工作是保障飞机持续适航和飞行安全的重要环节,是民航发展不可或缺的基础性行业,也是高技术密集型及劳动密集型职业,具有资质要求高、培养周期长、承担责任大、管理要求多、工作时间不规律、工作环境严酷等特点。

对各类航空人员资质实施执照管理是 CAAC 落实安全管理职责最基本的方式之一。



按照 CCAR-66 部第三次修订,维修放行复杂航空器的人员,需要在其航空器维修人员执照上获得有效的机型签署才能行使相应的执照权利,而机型签署需通过按照 CCAR-147 部批准的维修培训机构开展的机型维修培训才能获得。为强化对维修人员机型维修资质的管理,2022 年 CAAC 分别对咨询通告《航空器维修人员执照申请指南》和《航空器机型维修培训和签署规范》进行了修订,调整了机型签署有效期更新和恢复有效性相关的管理要求。

截至 2022 年年底,我国民航机务维修人员持有 CCAR-66 部民用航空器维修人员执照的人数是 68992 人,其中具有有效机型签署的持照人数是 30925 人,无有效机型签署的持照人数是 38067 人。

1.2 维修工作分类

MSG-3(Maintenance Steering Group-3)文件是美国航空运输协会(Air Transport Association of America,ATA)为航空器制造商和航空器运营人制订“初始计划维修检查要求”而编写的规范性文件。按照 MSG-3,民航维修可分为:润滑或勤务、目视检查(general visual inspection,GVI)或操作检查(operation check,OPC)、检验或功能测试、性能恢复、报废等工作类别。为便于按实际民航维修工作的重要性及难易程度来归类,本书将维修工作分为勤务、计划维修、非计划维修、部件维修和特殊维修等。

1. 勤务

航空器地面勤务工作是保证航空器运营人的航班正常运行和飞行安全最基础的工作之一,如图 1-2-1~图 1-2-6 所示,主要包括:

- (1) 航空器进出港指挥、停放、推、拖、挡轮挡及系留、拿取和堵放各种堵盖。
- (2) 为航空器提供电源、气源、加(放)水、加(放)油料、充气、充氧。
- (3) 驾驶舱、风挡、减震支柱镜面等清洁和除冰、雪、霜。
- (4) 开关航空器的舱门、勤务门,以及航空器的交接、封存。
- (5) 其他必要的勤务工作。

2. 计划维修

计划维修是指在一定时间周期内对航空器进行的例行维护工作,主要包括航空器绕机检查、航空器系统检测、维修放行以及工程指令等。



图 1-2-1 为航空器挡轮挡



图 1-2-2 清洗发动机



图 1-2-3 航空器除冰雪



图 1-2-4 航空器进港指挥



图 1-2-5 接通地面电源



图 1-2-6 减震支柱镜面清洁

1) 航空器绕机检查

主要在航线检查的维修任务中执行,目的是通过环绕航空器一周的目视检查,如图 1-2-7、图 1-2-8 所示,检查航空器的外观结构有无损伤或异常,分为一般目视检查、详细目视检查(detailed inspection, DET)、特别详细目视检查等。检查项目包括:螺钉、保险丝等紧固件是否符合要求;管路、导线、接头/插头是否松动、渗漏、腐蚀;机身结构无明显损伤、裂纹、脱层、磨损、腐蚀、擦伤、老化迹象等。



图 1-2-7 航空器绕机检查 1



图 1-2-8 航空器绕机检查 2

2) 航空器系统检测

主要在航线检查和定期检查的维修任务中执行,可以使用航空器自身系统的机内自检设备(built-in test equipment, BITE)测试,或使用额外设备测试,目的是检测航空器的各个系统能否在规定的范围内实现其目标功能,是否处于失效状态,以及能否达到最佳性能(设