

An-70 飞机结构系统分析

林 霜

(中航第一飞机研究院, 西安, 710089)

摘 要 文章对 An-70 飞机的构型特点、主要性能数据系统及复合材料在全机结构上的应用, 根据飞机的总体、运输需求, 提出了 An-70 飞机后勤保障要求。

关键词 军用运输机 An-70 结构 系统

1 An-70 飞机设计的背景

An-70 飞机是前苏联在 20 世纪 80 年代中期开始研制的。当时, 前苏联在役战术运输机的主要力量是 An-12 飞机。IL-76 飞机作为军民用运输机已装备部队。随着世界格局的变化, 东欧局势、中东海湾地区局势的日趋紧张, 前苏联感到来自各方的压力不断增加, 这其中也包括国内民族矛盾的加深。种种政治因素促使前苏联军方提出必须建立一支强大的军事机动力量, 以应付局部战争并保持超级大国的军事地位与美国抗衡。

为此军方提出了战术技术总要求:

- (1) 最大可能地运送陆军集团军的武器装备;
- (2) 尽可能多地运送武装士兵或伞兵;
- (3) 具有特殊的短距起降性能;
- (4) 具有高的自主作战能力。

对此 An-12 飞机显然不能胜任。IL-76 的有效载重是足够了, 但是它的货舱有效截面尺寸偏小(宽 3.45m、高 3.4m), 不能装运某些陆军主要作战车辆及装备, 也不具备短距起降性能; 发动机油耗高, 经济性差; 使用维护不方便等。针对这种情况, 前苏联召集了国内各飞机研究设计局和各航空院校, 汇集众多专家、学者的意见, 以安东诺夫设计局为主, 提出了 An-12 后继机种方案, 并付诸实施。历时十多年, 完成了 An-70 飞机。1998 年交付俄罗斯空军试飞, 预期售出 600 架(俄罗斯

空军 500 架, 乌克兰空军 100 架), 考虑到出口改型期望值为 1500 架。

An-70 飞机具有:

- (1) 先进的大功率动力装置;
 - (2) 先进的航空电子设备;
 - (3) 优良的起降性能;
 - (4) 宽敞的货舱以及优越的超低空空投能力。
- 因此它具有较高的综合经济效益。

据估计, 全球对此级别运输机的需求量将超过 2000 架。

2 An-70 飞机的特点

2.1 构型特点

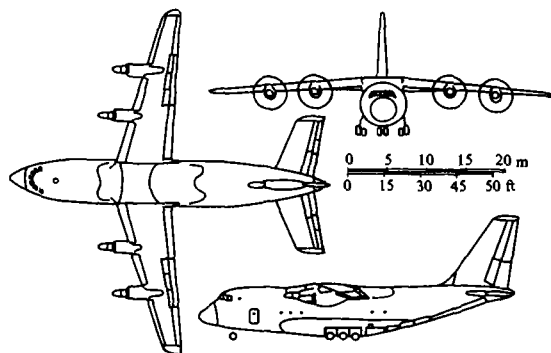


图 1 An-70 飞机三面图

2.1.1 主要几何参数

An-70 飞机的三面图见图 1, 总体布置图如图 2 所示。

全机长	40.73 m;	(含部分货桥)	22.4 m;
机高	16.38 m;	货舱容积	400 m ³ ;
翼展	44.06 m;	货舱地板面积(含部分货桥)	89 m ² ;
机翼展弦比	9.5;	机身尾段开口高	3.2 m;
根梢比	3.45;	主轮距	5.2 m;
后掠角	14°(1/4 弦线);	尾容量	平尾:1.28, 垂尾:0.104;
机身最大直径	5.6 m;	前、主起落架轮距	18.15 m;
货舱有效高度	4.1 m;	内侧发动机中心距离飞机中心	8.4 m;
货舱有效宽度	4.0 m;	螺旋桨直径	4.5 m;
货舱有效长度	19.1 m;	螺旋桨距地高度(外发)	3 m。

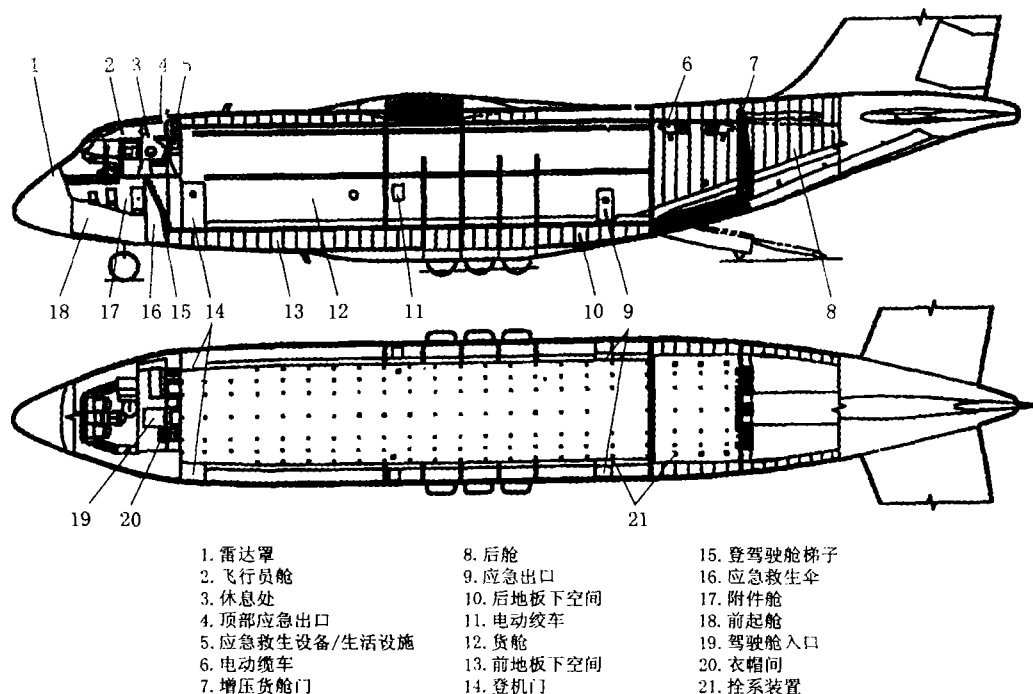


图2 An-70 飞机总体布置

2.1.2 机体主要材料

机翼上翼面材料为“1973”铝合金整体挤压带筋板, $\sigma_b = 54\text{MPa}$, $\sigma_{0.2} = 44\text{MPa}$; 机翼下翼面材料为“1161”铝合金整体挤压带筋板, $\sigma_b = 47\text{MPa}$, $\sigma_{0.2} = 35\text{MPa}$; 其余部分所用碳纤维复合材料重量占机翼结构重量的 25%, 成本提高 10%, 节省重量 5%。

垂尾、背鳍为 100% 碳纤维复合材料。

机身蒙皮为“1163”铝合金。

主、前起落架舱门、鼓包、货桥及后大门蒙皮为环氧玻璃钢。

2.1.3 外形布置

An-70 飞机采用上单翼、单垂尾、低平尾的常规布局。机身截面为椭圆形。机翼为大展弦比、中等后掠角、梯形机翼, 采用了超临界翼型。

开缝式前缘襟翼、缝翼, 双缝后退式襟翼, 可以充分利用螺旋桨的滑流, 使飞机在着陆、起飞时的升力系数接近 5.6 ($C_y \approx 5.6$)。从而保证了飞机有良好的低速性能。

前三点、多轮式、多支柱起落架, 为安东诺夫货机所固有。这种构型设计使得飞机可在低强度混凝土路面及简易跑道, 甚至一侧主起出现故障的情况下实施起降。

2.1.4 驾驶舱布置

驾驶舱布置在机头上部, 视界开阔。3 名机组人员(机长、副驾驶员和飞行工程师)另加货物装卸员。驾驶员并排就座, 飞行工程师座椅靠中央控制台。提供了飞行机组人员间最好交流的位置安排, 而这对于军用运输机来说是极其重要的。在左舷、正驾驶员后边留有领航员座椅。可根据

用户要求增加第四名机组人员,或改为 2 人驾驶体制,改为 2 人驾驶体制后,飞行工程师的工作由副驾驶员完成。

座舱显示采用电子飞行仪表系统(EFIS),共有 10 个综合显示屏,其中 6 个布置在飞行员前的仪表板上,2 个布置在领航员工作台。

驾驶舱内部装饰、布置、色彩设计满足现代技术美学要求。

2.1.5 机身及货舱

An-70 飞机的货舱如图 3 所示,机身前舱为密框结构,框距 250mm 左右,其余部分框距一般为 500mm,根据受力情况调整。机身与机翼在第 29、35 框相连接,这两个框为整体铝合金锻件框。蒙皮分块纵向搭接,横向对接。前机身的壁板使用埋头铆钉,中机身壁板为胶接点焊。

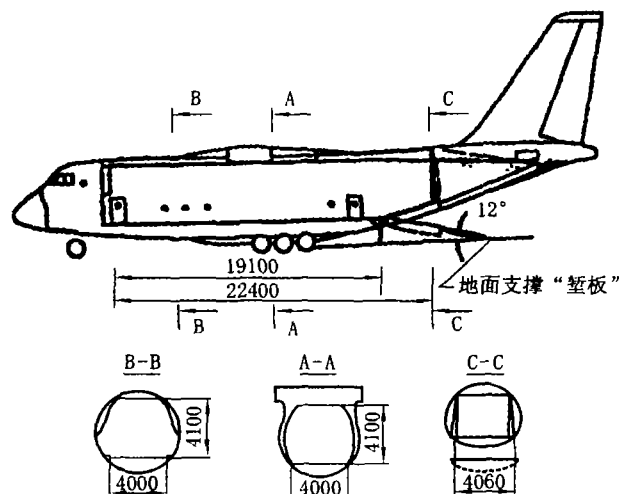


图 3 An-70 飞机货舱

机组登机门布置在货舱前端两侧。7 个应急舱门,其中货舱两侧各 3 个,驾驶舱顶 1 个。后货舱大门分为 4 块(包括斜台)。开启时,斜台放下兼做货桥使用。密封门向后上开启。另外 3 块整形门,中间的向上收在货舱顶部,两侧分别向外打开。

货舱顶部有两条吊梁,装有 4 部吊车,一次可吊起 12t 货物(每部承载 3t),用于直接把货物从机外调入货舱。两部电动绞车布置在货舱中部,牵引力 1500kg/部。地板中央有可拆卸的导轨,两侧各有 3 道滚棒装置。另外还有系留桩、链、网等系留设备。

运载武装士兵时,可用货舱隔板分成上、下两层。也可进行伞兵和物资的空投。最大空投货物单件重量为 20t。

An-70 飞机可以装载 32t 以下各种军、民用车辆、机械,一次可装载 110 名伞兵、或 310 名武装士兵、或 206 副担架。

2.1.6 机翼

An-70 飞机的机翼采用超临界机翼,为双梁式、多路传力整体油箱结构。上下翼面各有 5 块整体挤压带筋壁板,壁板采用数控和喷丸成形加工。An-70 飞机之所以不采用波音和空客飞机机翼的铆接壁板形式,原因有 5 条:

- (1) 使用整体挤压带筋壁板比铆接板可节省重量 5%;
- (2) 可减少铆接孔处的腐蚀;
- (3) 裂纹扩展速率低(根据实验);
- (4) 容易发现裂纹;
- (5) 机体结构检查周期短。

中央翼采用凸缘连接以及可拆卸机翼单元,以便于替换受损坏的翼段。采用大型磨铣壁板,机翼翼梁桁条减少达 70%;同时提供自动装配程序,并易于装配。

外翼与中央翼的对接形式和运-8 飞机相同,采用梳状件形式连接,对接螺栓受拉。这种对接形式简单,便于维护检查,有较高的耐久性(实践证明)。

机翼的增升装置为前缘襟翼和双缝后退式襟翼,可下放达 60° ,放下状态的升力系数可达 $C_y \approx 5.6$ 。

2.1.7 动力装置

An-70 飞机的动力装置包括 4 台 D-27 桨扇发动机,桨扇为 SV-27 型,TA-12-60 辅助动力装置及系统。发动机装置见图 4,辅助动力装置见图 5。

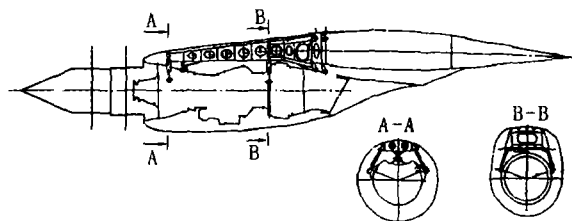


图 4 发动机装置

发动机由乌克兰扎巴罗日、伊夫琴科发动机公司制造;

单台功率	14000 EHP,
	6750 EHP(巡航状态);
油耗	130g/(HP×h);
桨叶	Sv-27(CB-27),全复合材料,

前排 8 叶、直径 4.5 m,

后排 6 叶、直径 4.5 m;

单台发动机重量 1.65 t;

单套桨叶重量 1.2 t。

D-27 桨扇发动机是模块设计,发动机减速齿轮为单级行星齿轮。低压轴流压气机有 5 级。高压压气机为轴向/离心式设计。高压与低压涡轮为轴向单级带有导向冷却叶片及转动叶片。桨扇涡轮是轴向式 4 级。

桨扇为双排共轴构型,桨叶全复合材料。具有自动化电子综合自动控制系统。电子系统出现故障时,由备份系统液压——机械系统来实施有限的操作控制。

对发动机与桨扇在飞行与地面操作中由 BCKД-27 机载自动化系统与飞机数据输出显示系统及操作储存器实施运行监控。

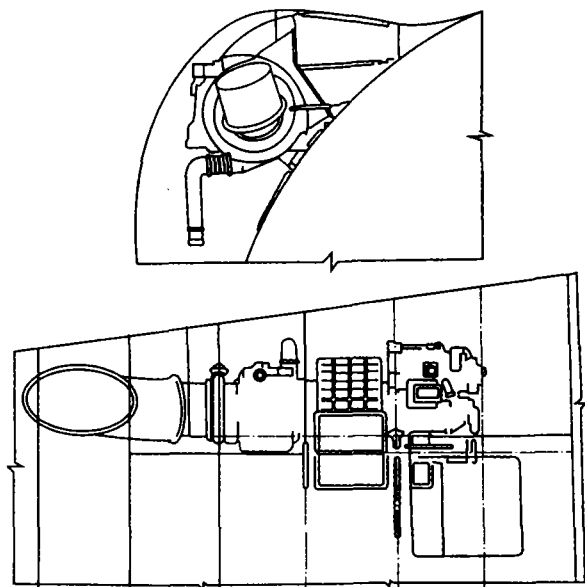


图 5 辅助动力装置

辅助动力装置(APU)安装在左起落架舱旁,为飞机系统在地面以及高度小于 9000m 时提供电源及压缩空气。

2.1.8 起落架

起落架为前三点布局。双轮前起落架,每组主起落装置纵列安装三副双轮式起落架,飞行中收在机身两侧的起落架舱里。在承载 $8\text{kg}/\text{cm}^2$ 的未砌跑道可以起降。轮胎尺寸 $1120\text{mm} \times 450\text{mm}$ 。

2.2 主要性能数据

2.2.1 巡航、飞行性能

An-70 飞机的航程、载重及跑道的关系如表 1

所示,装载-航程曲线见图 6。

巡航速度 750~800 km/h;

巡航高度 9000~12000 m;

最小可控速度 98 km/h;

最大装载 47 t;

最大装载航程 1350 km;

装载 30t 时最大航程 5000 km;

装载 20t 时最大航程 7400 km。

表 1 各种载重在使用不同跑道时可达到的航程

基本条件		正常混凝土跑道	简易短跑道	
跑道长 m		1800	915	600~700
航程 km	载重 47t	1350		
	载重 35t	3800	1450	
	载重 32t	4600	2100	
	载重 30t	5000	2550	700
	载重 20t	7400	4850	3000
	载重 0t	8800	8800	8000

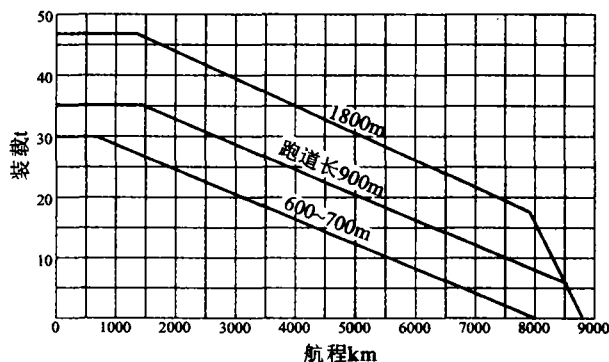


图 6 装载-航程曲线

2.2.2 起降性能

An-70 飞机的运载能力与机场跑道的关系见表 2、表 3。

正常起降时的跑道长度 1800 m;

短距起降时的跑道长度 600/900 m。

表 2 运载与跑道的关系

基本条件		正常混凝土跑道	简易短跑道	
跑道长 m		1800	915	600~700
运输能力 t	最大	47(过载 2.3)	35	
	设计	35(过载 2.5)	30	20(过载 3.0)

表 3 An-70 飞机起飞距离和跑道种类

载货(t)	航程(km)	起飞距离(m)	跑道种类
47	1350	1800	水泥
35	3800	1800~2000	水泥
35	1450	900	未铺砌
30	900	600~700	未铺砌
30	2600	900	未铺砌
30	5000	1800~2000	水泥
20	4900	900	未铺砌
20	3000	600	未铺砌
20	7400	1800	水泥

2.2.3 重量数据

最大起飞重量	132 t;
最大着陆重量	132 t;
空机重量	69 t;
全机结构重量	30.5 t;
单台发动机重量	1.65 t;
单套桨叶重量	1.2 t;
最大燃油	40 t;
燃油效率	126g/(t×km)。

2.2.4 机体寿命

设计目标	20000 次起落;
	45000 飞行小时;
	30 年。

上述三条以先到为限。

2.2.5 超低空空投能力

An-70 飞机可从 3 门 4 路空降伞兵,也可以空投车辆、货物等,空投货物单件重量为不大于 20t。空降伞兵时的最小表速为 160km/h,小于 IL-76 飞机 260km/h,伞兵离机的安全性高,落地的分布范围小,易于集结形成战斗力。An-70 飞机具有超低空空投能力,可以从 3m 高度实施空投。由于空投时速度小、高度低,货物一般不需要降落伞就可落地,轮式装备落地后即可投入使用。

2.3 系统

2.3.1 燃油系统

飞机燃油储存在机翼整体油箱当中,油箱分为互相独立的 4 组,每一组为一台发动机供油。

燃油总容量为 52000L,压力供油通过装在右起落架舱旁的两台外置耦合器进行。油量测量装置影响反应到燃油自动控制、燃油使用、监测数据输出显示系统及燃油系统控制面板。

2.3.2 防火系统

防火系统提供了飞机防火舱内(发动机、APU

舱、机翼前、后缘)火警的探测、预警及灭火功能。

2.3.3 机载电子综合系统

MILL-S-1553B 多通道信息交换系统的广泛使用,使得完成各种任务的机载设备容易更改和改进,可以在非国产与国产电子设备之间做出最佳组合选择,并减少电缆的使用数目。在合成系统中,系统失效时,采用单一类型机载数字计算机及单一类型功能物理模块,并通过程序化数字交换控制及整个设备系统的重构可以在机组成员使用飞机时极大地改善机载设备安全模式下的操作特性,包括自抑制操作系统。

飞行与导航综合设备包括满足 ARINC700 要求的飞行导航数据及无线电系统传感器,能够在任何季节、任一时间在全球范围飞行的飞机实施横向、航向和纵向的有效而标准的监测。

导航计算机系统加上多功能控制面板与显示器为航迹的编程及设置提供了依据,解决了考虑燃油流量、区域导航情况下导航优化问题,并为提供飞机到达场域图(SID)和场域离场图(STAR)时的飞行提供了飞行依据。

导航系统数字计算机通过接收辐射信号及多通道通讯信号,解决了指引飞机到达区域实施货物与伞兵的投放任务,其中考虑了降落伞系统的特性。

集成飞行控制系统包括自动飞行指引控制系统、人工飞行控制电传系统,极大地提高了飞机三轴稳定性与控制特性。系统为飞机着陆(包括短距起降及所有飞行模式)的复合控制提供了优化控制。集成系统数字计算机结合大气数据平台(激光INS着陆系统仪表板)为飞机在ICAO CAT II 及 IIIA 条件下的安全着陆提供了保障。

全彩色 CRTs 数据显示系统及数据处理计算机结合 MIL-S-1553B 数据传输内部总线使得系统显示通道由 6 个增加到 10 个,控制面板由 3 个增加到 5 个,特殊任务要将机组人员有 3 人增加到 5 人。

系统为机组提供飞行导航数据、工作参数、机载系统及设备的故障和失效数据,参照系信息及对显示出来的故障与失效的处理建议,并提供音响信号。

CKH 瞄准仪指示系统用于增加飞机接地滑跑时的准确度,以改善飞机短距起降的安全性。

无线电通讯设备(PCO)提供了飞机地面滑跑

及起降时的超高频段指令通讯、超高频段及高频段与地面通讯以及内通讯功能。这一设备同时也提供了飞机与地面控制台之间的自动数据交换。黑匣子用于揭示飞机失事原因,应急无线电台标明了应急场所。

飞机一般设备控制系统(CYOCO)功能在于采集周边各种设备的工作数据。控制和监控飞机系统而无需自带数字计算机,大大加强了自动化程度,从而降低了机组人员的工作强度。

机载自动测试系统与 CYOCO 系统联合,实现了对设备、数据采集更全面的监控,并将监控数据处理结果以最适合机组的方式呈现在显示系统上。

综合系统共有 30 个计算机子系统。

2.3.4 起落架系统

主起落架为多支柱系统,它是安东诺夫货机所固有的设计。这种结构设计使得飞机可在低强度混凝土路面及简易跑道甚至在一侧主起出现故障的情况下实施起降。

起落架收放系统由主、辅电——液压子系统及机械(应急)起落架收放系统组成。主子系统对所有起落架实施同步控制,辅系统对前起与主起实施独立控制。前起放下依靠气流,主起则依靠液压泵实施人工操作。

机轮刹车系统采用电子-液压遥控,并自动调节刹车压力。

机轮冷却由安装在机轮轴上的电动风扇实施,风扇可以自动关闭,由飞行工程师手工控制。

对于舱内货物的处理,设有专门调节货舱地板高度的电子液压系统,此系统也可用于维修时对飞机机轮与起落架实施更换,而无需将飞机顶起。

2.4 复合材料在全机结构上的应用

复合材料在全机结构上的应用如图 7 所示。

飞机承载部件如方向舵、安定面、襟翼等由高聚物复合材料制成。复合材料占机体结构的 25%。由于消除了上述部件大量的应力集中点(如不见装配孔),从而使机体寿命得以大幅提高。同时也使机体重量比金属结构减轻了 15%~20%,制造工作量减少了一半。

3 An-70 飞机的总体、运输需求(见表 4)

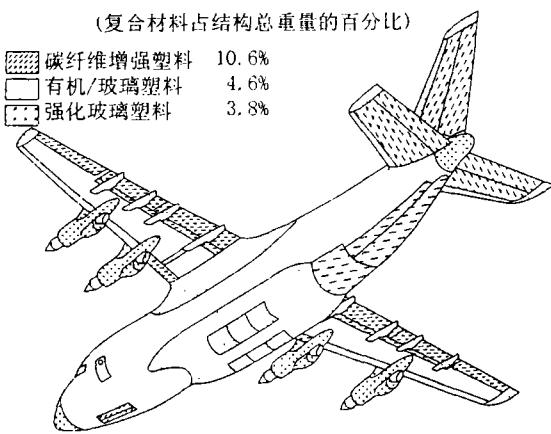


图 7 复合材料在结构上的应用

表 4 An-70 飞机的总体、运输要求

需求描述	An-70 能力
服役期	30 年
飞机的结构寿命与耐久性	20000 飞行起落
	20000 飞行小时,包括 5000h 低高度飞行
	20000 次着陆,包括 2000 次在简易跑道上着陆
其他要求	全天候昼夜飞行
	飞机能脱离地面独立完成任务
	在前方基地独立完成任务
	可改装成加油机,同时为 2 架飞机加油
	紧急情况机组人员安全脱离
军用货物、人员及伤员和空投运输的要求	满足民用飞机噪声要求
	货物总重 32t,单件货物 20t
	飞机货舱尺寸和载货能力以内,可装载各种类型车辆、托盘、集装箱、油箱及动力装置
	机降伞兵 120 人
	空投货物与设备
前方基地自适应性	仅有机组成员使用舱内设施即可完成货物装卸与货舱变换
	可在全发工作时装卸货物
	应用货桥运送货物
系留和紧固	2 名人员 2h 内完成货舱变换
	满足 JAR 要求
装/卸时间	8 个托盘 15/10min
	120 名军人 10/10min
	各种车辆 20/10min

4 An-70 飞机后勤保障要求

4.1 可靠性、维修性、可控性

- (1) 有条件的维修;
- (2) 战时偶发的修理;
- (3) 和平时期每一次飞行, 10 人时的维护与修理时间(标准飞行时间为 3.5h);

(4) 空中综合监控与检测系统(AIMDS)提供下述功能:

监控飞机系统与装置;

维修信息记录与故障检测;

显示维修所需数据。

- (5) 日常维护与装载使用的组合;
- (6) 两次起飞间无需内场维修;
- (7) 由前方基地提供支援下的自行运作能力;
- (8) 标准加油时间不超过 15min;
- (9) 两次飞行间 1 人 30min 的维护时间。

4.2 产品支援

提供了完整的技术出版物以及技术培训, 完善了地面保障设施和管理系统。

4.3 An-70 飞机生存力要求

对飞机与机组成员采用 2 级防护。

4.3.1 主要防护

- (1) 弹丸防护;
- (2) 便携式 IR 导弹防护。

4.3.2 主要防护方法

- (1) 余度、分离、隐藏、屏蔽;
- (2) 装甲;
- (3) 耐损结构;
- (4) 油箱、氧气系统及其它易受攻击部位的隔离;
- (5) 对空中武器和战斗机雷达照射的预警。

4.3.3 次级防护

- (1) 干扰器(在了解了威胁的情况后进行研究);
- (2) NBC 防护;
- (3) 电子、空中打击与核辐射防护;
- (4) 高强度电子辐射防护, 雷击防护。

5 An-70 飞机家族(见图 8)

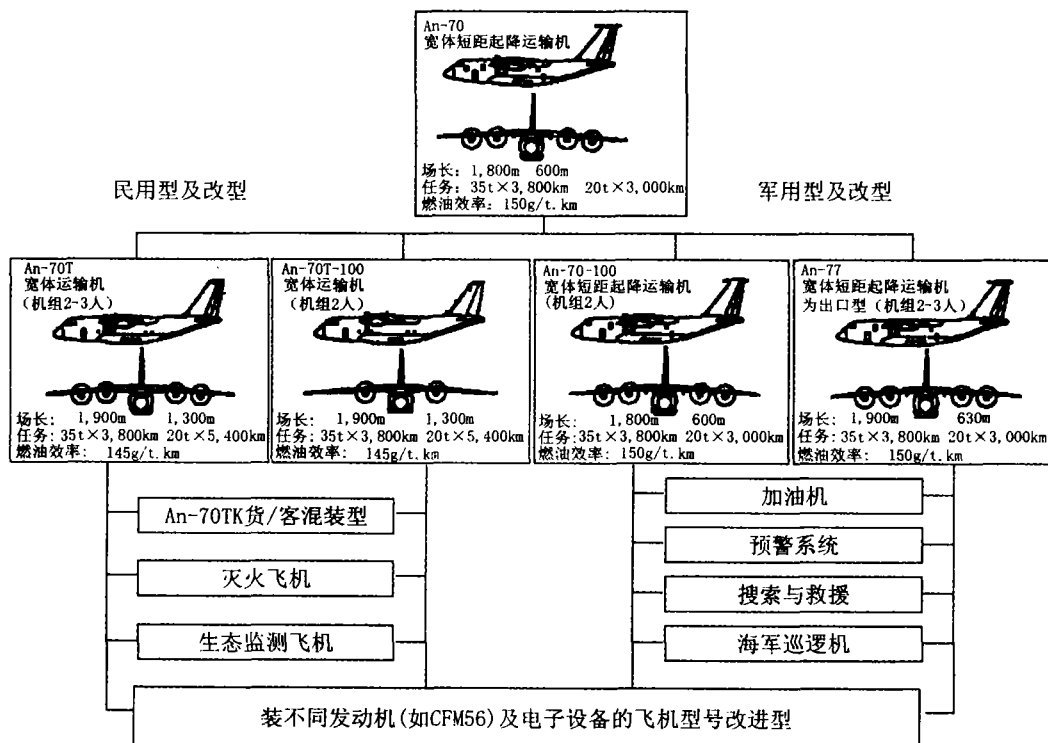


图 8 An-80 飞机家族