

民用直升机脉动总装生产线 规划研究

喻家发

(中国直升机设计研究所民机部,景德镇 333001)

[摘要] 飞机装配日趋向站位式、脉动化总装生产线方向发展。装配分离面的选择对飞机脉动总装生产线建设至关重要。通过分析直升机装配流程特点,探讨直升机结构分离面选择的利弊,研究直升机装配分离面对站位化总装生产线建设的影响,归纳了站位化总装生产线设计的基本原则和方法,为直升机总装生产线建设提供了思路。

关键词: 直升机;装配分离面;站位化;脉动;总装生产线

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2020.14.024



喻家发

高级工程师,具有丰富的产品设计工作经历,长期从事直升机类产品制造管理,对轻型民用直升机、无人直升机的工艺技术、生产管理、研发成本控制具有较为深刻和体系化的认知。

飞机装配生产线研究现状

装配生产线的共同特点是装配工序站位化、总装作业流水化。飞机装配是飞机制造的重要环节,包括机

体结构、部件装配调整和其他系统在机体内的安装。对飞机批产而言,提高装配效率、降低生产成本是当前国内航空业研究的重要热门课题,飞机装配日趋向站位式总装流水线(脉动化)方向发展。

装配流水线的概念源于福特汽车,1913年,福特T型车推进装配流水线建设,通过不断改进工艺,使汽车装配时间大大缩短。如今,流水生产线普及到工业生产的方方面面,成为大工业生产标志。流水生产线除可提高生产效率、降低制造成本,还极大地降低了对工人技能的要求,在生产线上工人仅需掌握自己所在位置的一个或几个装配技能即可。以我国目前发达的电子工业流水线为例,工人自己岗位上需做的就是日复一日重复自己的装配动作,这些动作如此简单几乎让新员工当天就可熟练掌握。

在飞机制造业,波音公司于2000年建立了第一条脉动总装生产线,并应用于阿帕奇直升机制造。波音公

司后续陆续建设了737/757/777/787等机型的脉动总装生产线并取得巨大成功,由此促进了脉动总装生产线技术在其他飞机制造企业的运用。洛克希德·马丁公司随后也建立了F-35型机脉动总装线,使F-35装配产能达1架/天的水平^[1]。随着国内飞机装配技术的发展,航空工业西飞于2010年建成了首条脉动总装生产线,航空工业洪都于2012年建成了L15飞机脉动总装生产线^[1]。国内最成功案列是,航空工业成飞公司通过“飞机多站位总装工艺流程构建^[2]”项目(图1),打破飞机装配传统模式,按“单元化”思想重构飞机装配流程(将传统固定式机位的总装流程变革为站位式流程),实行站位装配标准化作业,真正实现了节拍化按日排产,使生产计划显性化、精确化,为实现站位式、脉动化生产模式打下了坚实的基础。

国内在理论研究领域也取得了不俗成绩。有大量研究介绍了支撑飞机脉动总装生产线建设的柔性装

配、数字化测量、大部件对接、自动制孔、物料配送等技术^[1, 3-8]；文献[9]~[11]主要介绍了如何建模优化各装配站点的工作时长,以实现节拍化均衡生产;文献[12]、[13]主要介绍了装配现场信息化、可视化管理技术。分析国内相关论文发现:一是对固定翼飞机研究多,但对直升机总装脉动化生产研究的论文相对较少;二是相关成果主要涉及生产线建设的支撑技术,而针对生产线建设的前端规划研究(如何确立装配分离面,规划生产线站位等)很少。

确定装配分离面是飞机脉动总装生产线建设的关键,而飞机装配分离面最初源于型号设计。本文在分析直升机装配流程特点的基础上,探讨直升机结构设计分离面、装配分离面对总装站位化建设的影响,从而归纳出站位化总装生产线设计的基本

原则和方法,为直升机总装生产线建设提供支撑。

当前直升机装配流程分析

1 直升机装配流程模式及特点分析

直升机装配流程模式及特点主要取决于直升机主体结构设计界面之间的连接方式,以及动力传动的布局和调整方式。

1.1 大、中型直升机

一般大、中型直升机(1t以上)的装配流程参见图2,相关特点分析如下。

(1)结构特点:机体通常采用框梁铆接式结构。

(2)传动特点:动力、传动系统在机体结构上近似刚性安装,传动精度的调整范围极小。

(3)装配分析:为保证动力传动的安装基准,机体结构须在固定型架内铆装,降低了生产线流动性。图2

中蓝底框格部分,多以零件形式在飞机上装配,难以在地面充分集成后提交生产线上装配,降低了生产线流动性。

1.2 参考大中型直升机机体结构设计的轻型直升机

1t以下、参考大中型直升机机体结构模式设计的轻型直升机,典型如国内某500kg无人机的装配流程见图3,相关特点分析如下。

(1)结构特点:前机身和中机身为一体式结构,尾部结构与中机身法兰螺接。

(2)传动特点:发动机、主减速器等采用弹性安装,传动同心调整余地大,对机体精度要求低。

(3)装配分析:由于中机身与尾部结构的连接方式不可调整,导致中机身、尾部结构、发动机、主减等需在固定型架内装配、调整,降低了生产线流动性。图3中蓝底框格部分,难以在地面充分集成后再提交生产线上装配,降低了生产线流动性。

1.3 总装按站位化作业的轻型直升机

某些1t以下,结构、传动装配工艺性好的轻型直升机,典型如CH77、国内某500kg级民用直升机的装配流程见图4,相关特点分析如下。

(1)结构特点:前机身和中机身为一体式结构,尾部结构与中机身对接且可调整安装角度。座舱与中机身仅通过若干个支撑点螺接,装配协调关系简单。

(2)传动特点:发动机、主减等



图1 飞机多站式总装实例

Fig.1 Multi-station final assembly example of aircraft

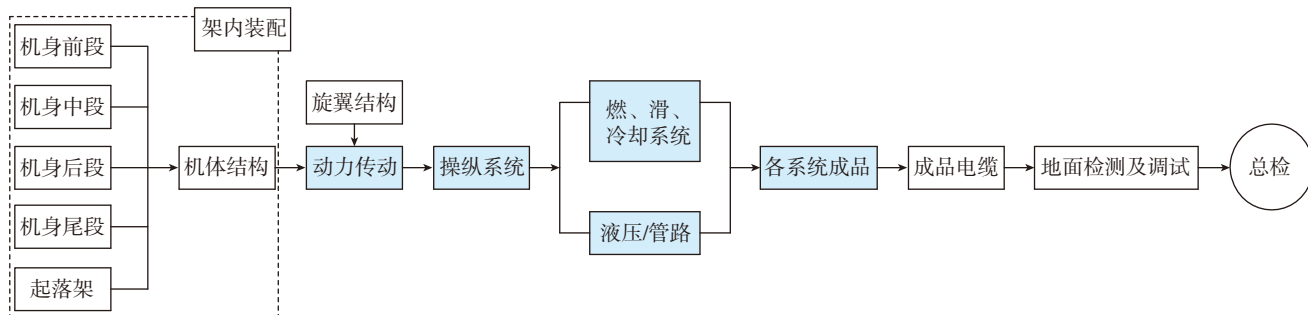


图2 一般大中型直升机装配流程图

Fig.2 Large and medium helicopter assembly flow chart

弹性安装,传动同心调整余地大,对机体精度要求低。

(3) 装配分析: 无需固定机位(架内)装配,并可在线进行动力、传动调心,生产线流动性较好。图4中蓝底框格数量减少,一定程度上提高了生产线流动性。

2 装配流程差异性原因及结果

直升机装配的首要任务是保证全机交点数据的准确性,动力、传动调整同心的符合性。

一般大中型直升机机体为分段组合的铆装式结构,并形成动力、传动部件的安装基准。因此,大中型直升机制造需先在固定型架内保证传动安装基准的准确性,同时保证结构交点的正确性,将直升机机体吊离型架后,装配动力传动系统。但事实上,由于系统近似刚性安装,且操作空间狭小,其传动同心度几乎不可调整甚至难以检测,在直升机尾部结构重力作用下,传动同心度一般很难达到设计要求(曾用微型数字位移传感器检测验证,某中型无人机下架后传动同心度约为设计允值的1.5倍)。

轻型直升机机体结构一般刚性较差,需将发动机及减速器(含旋翼桨毂)等大重量部件先安装就位,再在模拟传动张力状态下进行传动调心,并调整直升机主要交点数据符合要求。部分轻型直升机的发动机采用悬挂式弹性安装,主减采用弹性支撑安装,为传动调心及交点数据的调整提供了方便性。如此情况下,轻型直升机尾部结构的连接形式是否便于调整,决定了整机主体结构是否需在固定型架内装配。

因此,直升机设计应结合其结构、传动特点,优化机身结构、系统部件间的安装协调关系,做到既便于保证精度,又便于总装生产(尽量减少固定型架内装配,减少不能地面集成的部件)。

分离面对装配的影响

1 设计、工艺分离面的协调性

从设计角度,为便于设计过程易于并行实施和管理,将直升机按功能划分为若干独立的系统、部件、组件,所形成的可拆卸的分离面称为设计

分离面。制造工作中,打破部件完整功能性概念,将复杂部件进一步划分为更小并独立的部件或组件,所形成的分离面称为工艺分离面或装配分离面。

直升机设计阶段不仅应确定设计分离面,也应综合、充分地考虑工艺分离面,尽量使设计分离面与工艺分离面协调一致。从生产效率角度,设计分离面的内部结构应便于拆解为相对独立的、工作量相当的、可生产线上串行作业的多个装配分离面或线下并行作业的装配分离面。

设计分离面、工艺分离面的划分应立足于:(1)主体结构应尽量减少固定架内装配,以利于装配生产的节拍化流动,不便于总装线上作业的部分应有利于线下平行作业,以缩短配套周期;(2)部件设计应尽量提高组件化程度,以增加平行装配工作面(地面平行装配,再集成装配),提高装配效率以及装配机械化、自动化程度;(3)改善装配工作的开放性,以降低装配操作难度、提高装配质量,利于生产线作业。

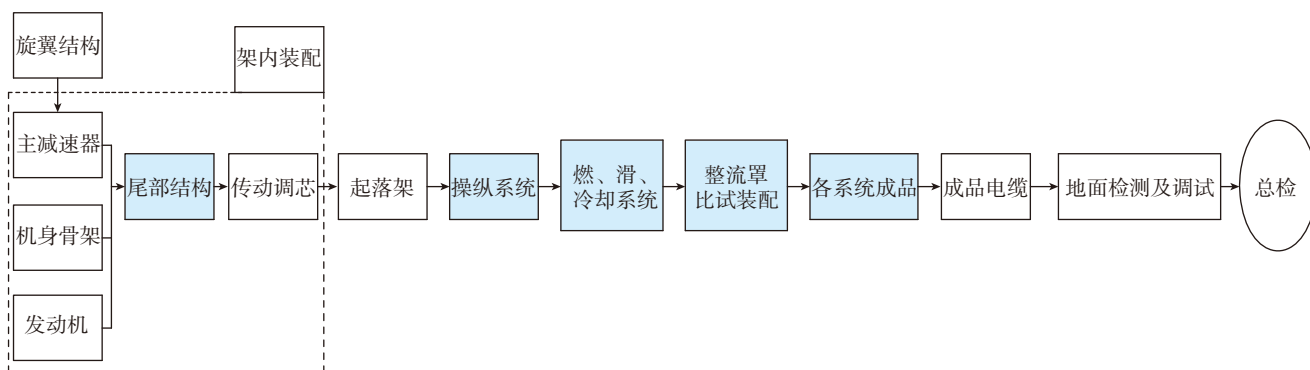


图3 参考大中型机体设计模式的轻型直升机装配流程图
Fig.3 Light helicopter assembly flow chart referring to large and medium airframe design mode

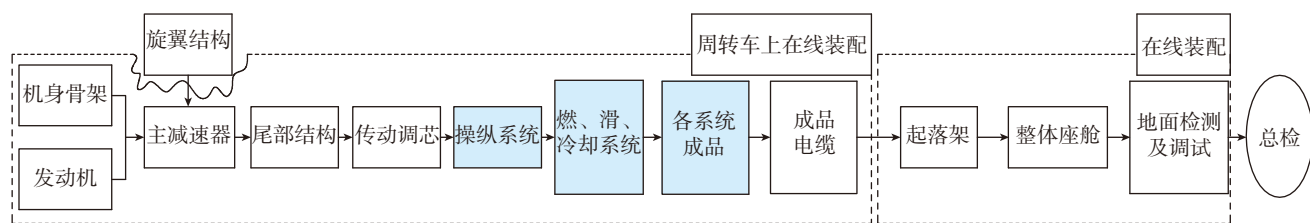


图4 轻型直升机在线装配流程图
Fig.4 Light helicopter online assembly process

分离面考虑不足会给制造效率带来很大负面影响,禁忌如下:(1)结构设计致使其装配内容在生产线上(或机上作业)无法分割,必须保持在某一固定站位长期串行工作,导致整个生产线难以流动;(2)某大部件装配内容在线下(或地面作业)无法切割,必须保持地面长期串行装配,导致总装时某部件的配套周期特别长;(3)部件之间存在配制等交叉关系,且配制后仍存在复杂的后续工序。

2 分离面优化实例分析

2.1 某轻型机主减旋翼轴-桨毂连接装配

(1)状态:某轻型机旋翼轴与桨毂间通过连接耳环组件连接(图5),连接耳环在轴上的装配过盈量大,需精确配制、加热装配。其中旋翼轴属于减速器零件,连接耳环组件属于桨毂,按专业分工,旋翼轴应由传动专业厂家制造,连接耳环应由旋翼专业厂家制造。

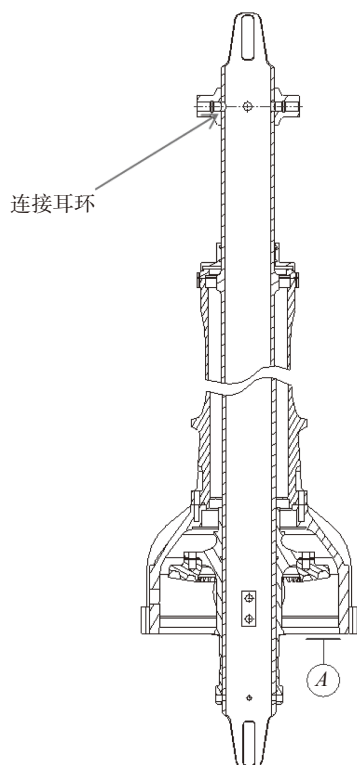


图5 某轻型机主减旋翼轴与桨毂连接
Fig.5 Connection between light helicopter rotor shaft and rotor hub

(2)问题:连接耳环的精加工须待减速器交付后配制,形成了两个独立部件制造之间的串联交叉关系,使桨毂的制造周期(总装配套周期)延长(半个月以上)。

(3)措施:将连接耳环组件分配给减速器厂家加工、配装交付,减速器厂家在车制旋翼轴后即可对连接耳环的相关尺寸进行精密加工,可缩短总装配套周期。

2.2 轻型机尾部结构装配

(1)状态:某轻型无人直升机机身骨架与尾部结构的连接方式如图6(a)所示,骨架与尾部通过法兰面上的四个铰制孔螺栓组对接。

(2)问题:机身骨架刚性较差,骨架与尾部连接不可调整。为保证尾部传动调心精度、整机交点数据符合性,需在固定型架内组合机身骨架、尾部结构、动力传动系统并一次性调整到位。

(3)措施:某轻型直升机机身骨架与尾部结构连接方式如图6(b)所示,骨架与尾部通过一个主支点螺栓连接、支撑定位,在调整动力传动及交点数据符合后,通过一连杆固定尾部结构,避免尾部旋转。该措施有利于尾部结构先在地面部装,再在生产线上总装。

2.3 轻型机整流罩装配

(1)状态:某轻型无人直升机整流罩安装如图7(a)所示,整流罩各部分依托机身结构框定位、装配。

(2)问题:机身主体结构装配完成后,才能在整机上逐件比试安装整流罩的各构件,导致站位占用时间长、装配互换性差。

(3)措施:某轻型直升机整流罩座舱安装如图7(b)所示,整流罩仅通过几个螺栓与骨架连接。整流罩可在地面独立装配(用工装保证连接互换性),再提交总装线上安装,缩短

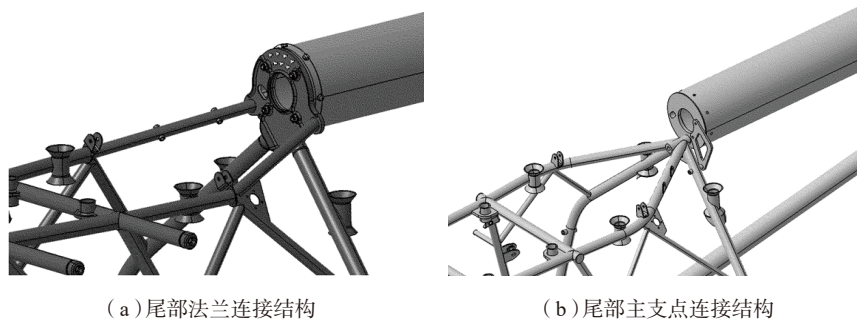


图6 轻型机机身骨架与尾部结构的连接方式对比

Fig.6 Comparison of connection between light helicopter fuselage and tail structure

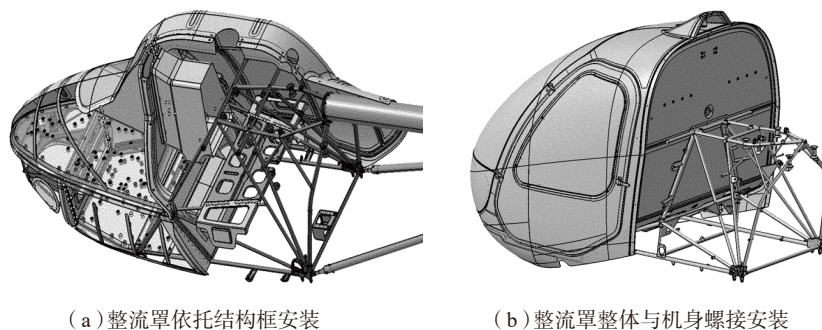


图7 轻型机整流罩安装方式对比

Fig.7 Comparison of light helicopter fairing installation methods

了在线装配时间。

2.4 电缆机上制作/电缆束地面集成

(1) 电缆机上制作法: 涉及机上电缆比试、制作、固定、检测, 导致某站位占用时间长。

(2) 电缆束地面集成: 在地面进行电缆束集成(外包配套), 缩短了电缆机上装配、调试时间, 方便了总装生产线脉动化作业。

装配生产线建设应遵守的主要原则

1 生产线脉动化作业的优势

(1) 生产效率高, 适合于批量装配生产;

(2) 便于企业以总装生产为主体, 其他零件、部件按外包生产;

(3) 生产过程节拍化, 生产线上前后站位的工作进度互相制约, 有利于协调监管;

(4) 工人的岗位工作简单化, 技术、技能要求低。

但是, 生产线也考验企业的配套能力和技术、质量问题的处理能力。企业需实时将资源配套到生产线的每个站位, 密切跟踪各站位技术、质量问题的处理, 尽量避免生产线的节拍被中断。

2 应遵守的主要原则

装配生产线建设的核心目标是提高生产效率, 应确立如下原则:

(1) 梳理装配分离面及装配逻辑, 区分地面装配站位和总装脉动生产线站位。

(2) 地面装配站位原则: 可地面集成的部件尽量先地面装配, 以降低总装生产线装配的复杂度; 不适合于脉动总装生产线作业的部件, 按地面(线下)站位集成, 再提交线上装配; 地面装配应尽量并行作业, 减少交叉协调。

(3) 总装脉动生产线站位原则: 适合于脉动总装生产线作业的, 按脉动生产线作业状态下的串行装配; 尽量规避或减少固定机位装配(如型

架内装配), 以提升生产线流动性。

(4) 地面站位、生产线站位的共性原则: 各站位的技术界面尽量系统化、模块化、清晰化; 各站位的装配时间设置应尽量趋同(特别是生产线站位); 尽量减少同一站位工种, 避免同一站位工种跨度太大。

(5) 生产线试运行阶段, 应记录各站位(详细到工序)的工作人数及时间, 以便持续优化。

轻型直升机总装生产线规划基本方法

1 按产能目标及人力资源初步规划生产线站位

(1) 梳理装配分离面及装配逻辑, 初步规划地面站位数量及脉动总装线站位数量。

(2) 按工作量初步评估各站位的工作人数、工作时间, 使各站位工作时长(时间值 A) 保持基本一致。 A 值建议以一天或一个班次为宜(或一个班次含有若干个完整的 A)。

(3) 总装线上耗时太长的站位, 应分解为多个连续串行站位。地面站位串行路线太长的, 应安排多个相同站位并行作业, 以便保证配套协调性。

(4) 按各站位人数及工种需求, 安排可供作业的技能人员。人力不足时将部分地面站位工作外包。

(5) 按产能目标、工作日历, 计算平均每架次装配所需的理论时长 B , 确认 A 、 B 值协调性(是否趋同)。如 A 明显大于 B , 则应重新审视各站位是否可再细分以缩小 A 值, 或构建多条生产线以满足产能需求。

2 生产线站位的工艺规划工作

(1) 编制地面站位、总装脉动线站位的详细规划一览表, 具体包括序号、站位名称、工作内容、工艺界面或要求、人数、工作时长、工装需求和人员工种。其中工作内容、工艺界面等

要求描述详细、清晰, 工装名称清楚, 工作时长评估相对准确。该表是后续工艺指令编制的重要依据。

(2) 按生产站位详细规划表中最大工作时长的站位重新确认 A 值, 以及 A 、 B 值的协调性。

(3) 按生产站位详细规划表需求进行生产站位的工装规划, 明确工装设计的要求和数量, 制定站位工装详细规划表, 具体包括站位、工装名称、结构形式、接口协调性要求、技术要求或用途和工装数量。其中, 接口协调性要求是指工装与直升机结构之间的协调安装关系, 技术要求是指针对工装本身的设计要求。

(4) 编制装配工艺流程图、型号装配生产站位化图解, 保持与生产站位详细规划表安排的协调性。

(5) 必要时, 根据厂房布局绘制生产站位布置图, 使地面站位与总装脉动线布局、周转合理。

3 某轻型直升机总装生产线规划实例

(1) 表 1 为某轻型机生产站位规划表。

(2) 图 8 为某轻型机装配工艺流程图。

(3) 某轻型机装配生产站位化图解(略)。

结论

(1) 结合企业产能目标、人力资源情况, 合理确定装配分离面并规划生产线站位, 是脉动总装生产线建设的关键步骤; 站位分离面的设置, 应使各站位装配时间趋同。

(2) 民用直升机研制应注意设计、工艺协同: 尽量使设计分离面与装配工艺分离面协调一致, 以利于装配生产线的站位建设; 尽量规避或减少固定架位装配, 以利于生产线流动; 尽量减少系统部件间的交叉关联, 提高系统部件装配独立性, 以便于系统地面集成、并行作业, 从而提高生产线的流动效率。

表1 某轻型直升机生产站位规划表
Table 1 Planning of a light helicopter production station

规划	序号	站位名称	工作内容(工作时间/d)	工艺界面或要求	人数	工作日	工装
地面装配/每天8h(并行装配)	1	旋翼系统装配	主桨毂+自动倾斜器+减速器地面装配(0.5×3); 尾减速器+尾桨装配(0.5); 其他系统结构小组件地面装配(0.5)	附着在桨毂、主尾减速器、自动倾斜器上的零组件、小成件(含传感器、航行灯及油路接口等)全部装配完成	2	2.5	主减装配立定平台; 长拉杆工装
	2	发动机地面装配	发动机拆箱及附着成品、管路及接口装配(1.0); 发动机挂架及支撑杆等装配(0.5); 皮带轮及风扇装配(0.5); 钢索轮及其他动力安装需提前装配件(0.5)	发动机上附件(燃油泵、油嘴、传感器、内部管路等)装配到位; 安装挂架、支撑杆装配完成,多余件附着其上	2	2.5	发动机推托车
	3	尾部结构装配	平垂尾组合(0.5); 尾梁轴承处及前后端盖定位开孔(0.5); 尾梁及传动轴、平垂尾、尾操纵集成(0.75); 尾部成品(含减速器)的安装(0.25); 其他系统结构小组件地面装配(0.5)	配加工件需提前处理; 尾梁后部端盖试装后拆卸,尾梁支撑卡箍安装后不铆接; 其他附着结构及成品全部装配	2	2.5	平垂尾组合工装; 尾部装配定位工装
	4	整流罩内部装配	整流罩结构增设电缆尼龙固定座(0.25); 座舱仪表装配;整流罩其他成品安装(1.0); 整流罩内装修(厂家现场装配(1.25)与油箱同步); 油箱地面装配及试验(1.25)	整流罩上成品全装配到位; 内装修:口盖设置不影响座舱后续开安装孔及接线,内饰装配需经用户代表检查美观性	2	2.5	整流罩内装修固定平台; 油箱气密性试验工装
	5	电气地面工作	直流配电箱装配与检查(2.0); 电缆束地面导通检查(1.0); 其他电装准备(1.0)	不占站位,室内实施; 其他空余人员协助	1	4.0	—
	小计				24 人日		
机上装配/每天8h(按站位顺序装配)	1	动力传动装配	初步安装主减速器、装紧装置、膜片、皮带、发动机(1.0); 尾部结构对接装配、尾撑杆装配等(0.75); 进行装配调整及动力传动调心(1.25); 关键数据调整到位后,进行尾梁支撑卡箍铆接并安装尾减速器(0.5)	皮带装紧状态:主尾传动同心、皮带轮共面,旋翼轴、尾梁安装水平符合要求; 尾梁支撑卡箍铆接点	2	3.5	总装周转托车、发动机托车、主减起吊绳(行车工); 尾部安装托架拖车; 传动调心检测工装、水平(角度)检测工装; 张紧机构上电工装
	2	操纵系统装配	操纵杆系装配调整(主、尾、油门等)(0.9×3); 发动机操纵及钢锁装配调整(0.3); 旋翼摇臂拉杆中立位调整(0.5)	锁定自动倾斜器、主尾旋翼操纵及油门操纵中立位;大部关节轴承杆调节到理论长度;机舱下各1共3杆随机调整长度	2	3.5	总装周转托车; 自动倾斜器中立工装; 主操纵周期杆中立工装; 尾操纵杆中立工装; 总距操纵杆中立工装; 主桨叶中立位调整假件
	3	燃、滑油等系统装配	系统结构装配、成品装配、管路装配与保护(2.0); 油路管路气密性试验(0.25); 与座舱关联系统的局部结构装配(0.25); 机身剩余结构及小成品(含电元件)装配(0.5)	油路管路气密性试验; 管路保护装配到位并经用户代表检查美观性	2	3	总装周转托车; 油路气密性试验工装
	4	电气装配检查	电缆敷设、骨架安装系统少量补充接线(1.5); 机上导通-搭接-通电系列检查(1.5)	电缆固定、保护需经用户代表检查美观性			总装周转托车; 全机电检检查模拟器
	5	整流罩、起落架装配	整流罩、起落架装配,座椅安全带装配(1.0); 整流罩上成品补充电气检测(0.5); 大气气密性试验(0.25); 骨架气密性试验(0.25); 座舱仪表板接线(0.5)	—	3	3.5	总装周转托车; 气密性压接及试验工装
	6	整机调整、检测	桨叶安装、水平测量、相关剩余试验(1.5); 全机检查(1.0); 灌装滑油及冷却液、全机称重(0.5)	全部工作完成后,飞机静置1d,检查滑油、冷却液连接是否渗漏	2	3.5	桨叶推车; 起吊绳(公司购置); 1.2m平台登高车(购置); 水平测量称重平板车
	小计				37.5 人日		

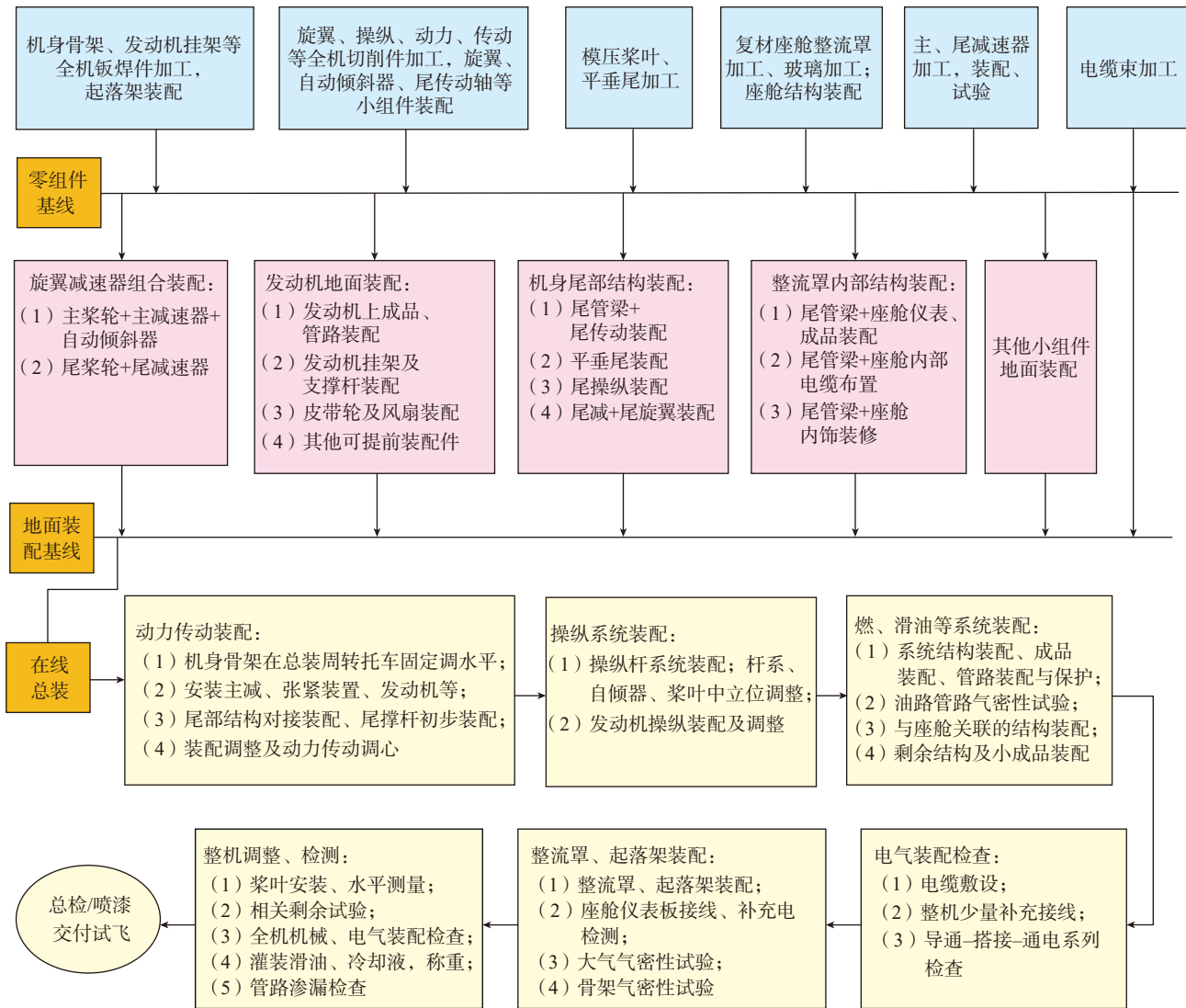


图8 某轻型机装配工艺流程图
Fig.8 Light helicopter assembly process flow chart

参考文献

[1] 王婷. 飞机脉动装配生产线关键技术应用及发展[J]. 科技创新导报, 2018, 15(35): 86-87.
WANG Ting. Application and development of key technology of aircraft pulsating assembly production line[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2018, 15(35): 86-87.
[2] 张小洪, 安玮. 成飞召开表彰大

会奖励创新创效 [EB/OL]. (2017-12-01) [2020-03-17]. <http://www.cannews.com.cn/2016/1201/161232.shtml>.
ZHANG Xiaohong, AN Wei. AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) CO., Ltd. [EB/OL]. (2017-12-01)[2020-03-17]. <http://www.cannews.com.cn/2016/1201/161232.shtml>.
[3] 蒋红宇, 王宇波. 飞机自动化装配技术的发展[J]. 航空制造技术, 2012, 55(22): 73-76.
JIANG Hongyu, WANG Yubo.

Development of aircraft auto-assembly technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012, 55(22): 73-76.
[4] 王森. 飞机总装脉动生产线研究[J]. 中国科技信息, 2019(2): 23-24, 27.
WANG Miao. Research on pulsating production line of aircraft assembly[J]. China Science and Technology Information, 2019(2): 23-24, 27.
[5] 李永东. 浅析飞机总装移动生产线技术[J]. 科技风, 2012(12): 12, 25.
LI Yongdong. Aircraft assembly mobile

- production line technology[J]. Technology Wind, 2012(12): 12, 25.
- [6] 郭佳. 轻型运动飞机生产线构建及关键技术研究[J]. 航空制造技术, 2016, 59(16): 63–68.
- GUO Jia. Constructing of production line and key technology for light sport aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(16): 63–68.
- [7] 裴书梅, 杨根军, 陈军. 飞机总装脉动生产线智能制造技术研究与应用[J]. 航空制造技术, 2016, 59(16): 41–47.
- CHANG Shumei, YANG Genjun, CHEN Jun. Research and application of intelligent manufacturing technology for aircraft final assembly pulsation production line[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(16): 41–47.
- [8] 郭洪杰. 飞机数字化柔性装配生产线关键技术[J]. 航空制造技术, 2011, 54(17): 40–43.
- GUO Hongjie. Key technology of aircraft digital flexible assembly line[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011, 54(17): 40–43.
- [9] 郭佳, 吴永林, 张勤满, 等. 某轻型飞机总装生产线规划与仿真[J]. 航空制造技术, 2012, 55(1): 138–139, 143.
- GUO Jia, WU Yonglin, ZHANG Qinman, et al. Light aircraft assembly line planning and simulation[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012, 55(1): 138–139, 143.
- [10] 潘志豪, 郭宇, 查珊珊, 等. 基于混合优化算法的飞机总装脉动生产线平衡问题[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(10): 2436–2447.
- PAN Zhihao, GUO Yu, ZHA Shanshan, et al. Aircraft pulsating assembly line balancing problem based on hybrid algorithm[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(10): 2436–2447.
- [11] 王青, 温李庆, 李江雄, 等. 基于Petri网的飞机总装配生产线建模及优化方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2015, 49(7): 1224–1231.
- WANG Qing, WEN Liqing, LI Jiangxiong, et al. Modeling and optimization for aircraft final assembly line based on Petri net[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2015, 49(7): 1224–1231.
- [12] 王晓停, 吴凌俊, 吴薇薇. 飞机总装脉动生产线信息化管理研究[J]. 科技广场, 2016(5): 20–23.
- WANG Xiaoting, WU Lingjun, WU Weiwei. Research on information management of aircraft pulse assembly line fluctuating production line[J]. Science Mosaic, 2016(5): 20–23.
- [13] 宁博. 飞机总装生产线数字化孪生系统若干关键技术研究[J]. 数字化用户, 2019, 25(14): 158.
- NING Bo. Research on crucial digital twin system technology of plane assembly production line[J]. Digitizing User, 2019, 25(14): 158.
- 通讯作者: 喻家发, E-mail: 1353792754@qq.com。

Pulsating Assembly Production Line Planning of Civil Helicopter

YU Jiafa

(Civilian Helicopter Department of China Helicopter Research and Development Institute, Jingdezhen 333001, China)

[ABSTRACT] The aircraft assembly is increasingly developing into a standing, pulsating assembly line. Choice of assembly separation plane is crucial to aircraft assembly station construction. Through the analysis of the characteristics about helicopter assembly process, then we explored the advantages and disadvantages of different structural separation planes, and studied the effect of assembly separation plane for helicopters on the construction of the assembly station, concluded the basic rules and methods for the design of the assembly station production line, and the conclusion provided ideas for helicopter assembly production line construction.

Keywords: Helicopter; Assembly separation plane; Station; Pulsating; Assembly production line

(责编 逸飞)