



王建华

研究员级高级工程师。1982年本科毕业于南京航空航天大学飞机制造专业,1996年硕士研究生毕业于北京航空航天大学工业外贸专业。曾任西安飞机工业(集团)有限责任公司副总工艺师、技术装备公司总工程师、上海航空特种车辆有限责任公司总工程师,现任上海飞机制造有限公司工装部部长,负责中国大型客机项目的装配协调方案制定工作。

我国大型客机研制已经进入实质性发展阶段,上海飞机制造有限公司担负着大型客机总装的艰巨任务,在制定总装对接协调方案时,了解目

32 航空制造技术·2010年第2期

飞机总装对接是飞机制造中的一个关键环节,前期的零件制造、部件装配都是为这个阶段的装配积累基础。在总装对接技术中,对接部位的确定、对接基准的选择、测量方法的应用等都是应当关注的焦点。

前世界上各类先进飞机的总装方法和技术对于我们有着十分有益的借鉴作用。

飞机总装对接是飞机制造中的一个关键环节,前期的零件制造、部件装配都是为这个阶段的装配积累基础。在总装对接技术中,对接部位的确定、对接基准的选择、测量方法的应用等都是应当关注的焦点。笔者试图对总装技术进行汇集、分类、归纳和分析,并应用了一些生产实践中工程人员创造的一些词汇给予适当的定义,力求对问题进行明确的阐述,不当之处,请读者批评指正。

### 对接部位

在飞机对接中,讲到对接部位,一般是指机身段对接、翼身对接和尾翼对接。

#### 1 机身段对接

无论是大飞机还是小飞机,从目前来说,机身是飞机操作飞行和承载目标物的核心载体,因此机身段的总装对接是保证飞机成功制造和安全使用的关键环节。

按照安装顺序来分,机身对接分带翼对接和成龙对接;按照集成规模来说,机身对接分合段预对接和分段汇聚对接。

##### (1) 带翼对接。

带翼对接是指带中央翼的飞机中段先和外翼进行对接,然后再与机身前后段进行对接的方法。

如上海飞机制造有限公司的ARJ21-700飞机、波音747-8新一代巨无霸在总装时采取的就是这种方法。

该总装对接的特点是:

a. 把外翼与机身对接的工作量放在全机对接外面,有利于缩短全机对接周期;

b. 对于中小型飞机来说,有利于增加机翼安装开敞性,容易克服安装空间不足给机翼螺接带来的麻烦;

c. 中机身往往是全机对接的基准,翼身事先实现对接,对于在后面全机实现对接时的基准调整稳定性有益;

d. 飞机研制期往往采用该方法,比如波音 737 在研制批,或在批量不大时采用的就是此方法。

#### (2) 成龙对接。

成龙对接,又叫纵向成龙,是指先把机身各段实现对接,然后再和机翼对接的方法。

采用成龙对接的飞机有 A320 飞机、波音 737 飞机、Bombardier BD100 飞机。

该总装对接的特点是:

a. 无机翼情况下,机身外表面在对接时视野无阻碍,容易保持流线安装;

b. 特别适合在远方供应商处生产,远距离运输;

c. 适合全机或大部段机内系统预安装,减少总装阶段的工作量;

d. 飞机批生产阶段往往采用此方法。

#### (3) 合段预对接。



合段预对接是指对分段生产的机身段件在一定的规模内预先连接成大部段,再拿大部段进行全机对接。

合段预对接一般为 3 段预对接,即机头加机身前端预对接、机身中部各段预对接、机身后部各段预对接,这样总装时有 2 条机身对接缝。世界上的大部分飞机采取此方式对接。

有个别机型采取 2 段预对接,即预先把机身对合成两大部段,在总装时只有一条对接缝,例如 A320 在天津组装时就是采用此方式对接。

#### (4) 各段汇集对接。

各段汇集对接是指将独立装配

的飞机各段不进行预对接,而是直接参与总装对接的方式。

这种情况一般用于小型飞机或歼击机的对接总装,在大中型飞机总装时很少采用。

## 2 翼身对接

翼身对接形成大十字架或小十字架,是构造飞机机体核心结构的重要环节。翼身对接分全翼对接法和外翼对接法。

#### (1) 全翼对接法。

所谓全翼对接是指左右外翼与中央翼预先进行横向对接(又叫横向成龙对接),再参加全机对接的方法。

A400M 飞机、BD100 飞机、波音 747-8 飞机均是采用该方式。

该方式的特点是:

a. 全翼连接方便简单,不受机身位置因素影响;

b. 机翼可以容易地进行系统安装和密封测试;

c. 上单翼飞机主要采用该方式进行全机对接。

#### (2) 外翼对接法。

外翼对接指的是中央翼已经和中机身安装在一体,左右外翼分别与中央翼 1 号肋进行对接。绝大部分飞机都是采用这种模式连接。如波音 787、波音 737, A320、A380 等。

该方式的特点是:





a. 中央翼已经与中机身装配在一起,左右外翼分别单独与中央翼盒边缘的1号肋连接,形成外翼外挂状态;

b. 机翼可以最后参与对接,节约工作面积;

c. 下单翼飞机主要采用该方式进行全机对接。

### 3 尾翼对接

尾翼由水平尾翼和垂直尾翼组成。

水平尾翼因为分左右翼,所以其对接方式和机翼类似,分全水平尾翼对接法和左右水平尾翼外挂对接2种。但是一般采取全水平尾翼对接法,如波音787即为该方法的典型案例。

该方法的特点如下:

a. 左右水平安定面和中央倒梯形盒段进行预对接;

b. 一般情况下,尾椎也参与试对合。

垂直尾翼是一个单独部件,大部分情况下参与飞机全机最后对接,如波音737,但也有预先和机身尾段进行连接,与尾段一起参与飞机全机最后对接,如ARJ21-700。

## 对接技术

对接技术是飞机总装的核心。采用方式的差异能够代表飞机整体制造技术水平的高低。

在对接技术中,有自动对接和非自动对接,有不同部位基准的选择;有各种测量和信息处理的方法等。

### 1 非自动对接

非自动对接是相当于自动对接而言的。通常靠人工找正、调整及人对接,早期飞机多采用通用千斤顶加辅助托架的方式,通过光

学水平仪和经纬仪来找正各个飞机部件之间的关系,然后实现对接。目前在新机研制阶段,先进飞机依然使用下列2种方式。

另外,在批产飞机中,翼类部件大量采用了精加工的技术,也采用这种方法进行对接。

#### (1) 型架加吊车方式对接。

厂房天车或地面吊车吊起参与对接的飞机部件,将支撑位于机体外表面的定位接头放置在型架上的定位交点,利用型架本身的相对基准,使产品部件相互对接。A380试验机机身对接就是采用这种方法。

还有一种方式是直接将飞机部件吊装在飞机机体上,利用2部件上精加工过的相对接头直接进行部件对合,比如波音737的垂直尾翼和水平尾翼的安装。

#### (2) POGO柱方式手工调整对接。

20世纪50年代,国外在飞机对接时采用了可用3个坐标方向手工调整的POGO柱取代了固定式型架或通用千斤顶的支撑形式,比如麦道系列飞机采用了该技术,并沿用至

今。

### 2 自动对接

与手工调整对接不同,自动对接是利用计算机控制技术、激光测量技术、信息处理与反馈技术等使飞机部件实现非人工干涉的自动对接,20世纪80年代后随着计算机技术的发展自动对接在西方飞机制造行业逐渐被大量采用。

自动对接在西方飞机制造行业20世纪80年代后逐渐大量采用。

#### (1) 支点式联调对接。

所谓支点式联调对接就是大量采用POGO柱,形成一个点状网络系统,与飞机部件上的支撑接头一一对一连接,通过联合调整(手工或自动)使飞机部件进入正确坐标位置。空中客车公司的各型号飞机采用的就是这种技术。

#### (2) 托架式调整对接。

波音787飞机率先采用了托架式调整对接技术,这种技术的关键点在于放弃了将支点式联调对接技术中的部分POGO柱直接与机体表面的支撑接头连接,而是通过一个连在机体外表面带保型的固定托架将机体托起,参与对接。这种方式是一个创举,使飞机部件对接更稳定、更准确、更不容易变形。

### 3 对接中采用的基准方法

飞机对接,基准很重要,它是保证飞机准确到位的基础。由于设计理念的不同和制造技术习惯的差异,不同的飞机制造厂商有不同的基准选取方法,如原麦道飞机选择的是机身内部基准定位法,空客飞机普遍采用机身截面或非机身基准定位的方法,波音飞机不同的机型有不同的基准方法。

#### (1) 机身内部基准定位。

机身内部基准通常选取在特定基准长桁上或地板座椅滑轨上,因为它们贯通机身前后的直线零件。ARJ21-700采用的就是这种方法。这种对接是把精度控制在机身内部,

而把误差积累推移到机身外部,同时,这种方法的精度往往取决于特定基准长桁或地板座椅滑轨自身的制造精度和装配准确度。

(2) 机身段截面基准定位。

机身段截面基准定位法是指将定位基准选取在部件的对接截面,边对接边调整,最终将部件对合在一起。这种方式特别适用于自动对接。

(3) 机身表面基准定位。

机身表面基准定位是指在工程设计时就机体表面特定几何元素上标定基准点,或预留测量孔(面),零件制造和部件装配时始终保持这些特定点的准确度,直到总装对接。

(4) 非机上基准定位

随着现代飞机制造技术的发展,制造和安装精度的提高,工程师们试图将飞机总装基准从飞机机体上转移到支撑飞机的承载物体上,例如承载接头、VGA 小车、托架、地面、升降机等。基准的外延,使得飞机总装对接有更大的自由度。波音和空中客车都采用了这种办法。

#### 4 对接中采用的测量手段

飞机总装对接中,除了飞机机体上自身有判断是否安装正确的几何要素外,更多的是利用一些测量工具来进行准确度验证。

早期,人们主要使用常规光学工具(准直仪、水平仪、经纬仪等)来辅助飞机的装配测量;后来,发明了激光准直仪;再后来,计算机辅助电子经纬仪、激光跟踪仪、激光雷达、iGPS 的出现,使得飞机总装对接的测量手段呈现多样化的特点。

(1) 常规光学工具测量法。

常规光学工具测量法是使用工业准直仪、水平仪、经纬仪等常规光学仪器,辅助飞机对接过程中对目标体相对于基准的精度检测,也就是通过人的目光来判断目标体的偏差



方向,通过仪器上的刻度来读取偏差值,通过计算来给出目标体所应该调整的范围。这种方法人为因素较多,大多数飞机制造中已经不再采用,但在我国一些军机、个别民机生产中还继续使用着。

(2) 激光准直仪测量法。

激光准直仪测量法是指利用激光准直仪发出一束激光,穿过若干专用目标,建立一束直线,通过人工调整直线上的目标,使一束直线在规定范围内聚合,在数显表上读出需要的数字,这时就认为调整到位了。这种方法,经常应用在机身内部基准定位的环境中。

(3) 激光跟踪仪测量法。

20 世纪 90 年代,世界上出现了计算机辅助激光跟踪仪,本来是给汽车制造配备的设备立刻得到航空制造工程师们的青睐,在包括中国在内的飞机制造业内大量采用。

该方法利用激光束不变形的特性,应用测角原理,通过靶镜在空间快速定位目标体的 6 个自由度,准确调整飞机机体的状态和位置,使之达到精确测量和快速定位。

(4) 激光雷达测量法。

激光雷达测量法是使用 2 个或更多的激光雷达,通过编程测量校准工具球,激光雷达可以自动从一个校准工具球移动到另一个校准工具球,连续地监视和报告所有的相关位置,程序可以自动循环重复,可以为总装对接调整提供精确的报告,这样就不再需要多台激光跟踪仪和

多个靶镜。这样的定位取点比起依靠手动操作的激光跟踪仪要精确得多。

尽管激光跟踪仪也可以完成这样的工作,但速度只有激光雷达的 1/20 ~ 1/30。

(5) iGPS 测量法。

iGPS 本来是地球定位系统,在飞机制造业内也得到了应用,波音首先在波音 787 中使用了 iGPS 测量法。

该方法是利用室内多处的传感器和接收器接受发射器的光信号,无线反馈回中央控制电脑,进行精度迭代计算,同时向执行动作部分发出动作指令,动作执行机构很快地根据计算出的数据,驱动移动元件调整飞机部件到正确位置。

该方法执行过程中,不会像激光跟踪仪那样怕掉光,且可以同时满足室内多个用户使用而不相互干扰。当系统固定装配标定一次后,就可以无限制使用了,所有进入该覆盖系统区域内的物体都可以立即进行跟踪测量,无须建立坐标系。所以,当飞机各个部件同时进入系统区域时,该系统可以同时处理每个部件的运动动作,而不需要相互等待。

这个系统是未来飞机对接技术中最理想的选择。

#### 结束语

随着世界科技的迅速发展,未来会有更好的总装对接技术诞生,我们只有不断地改变思维,勇于创新,善于运用,才能不被历史的潮流所淘汰。

#### 参考文献

- [1] 肖庆东,王仲奇,马强,等.大型飞机数字化装配技术研究.中国制造业信息化,2007(3).
- [2] 于勇,陶剑,范玉青.波音 787 装配技术及其装配过程.航空制造技术,2009(14):44-47.
- [3] 王建华.简论工艺装备柔性化.航空工艺技术,1993(1):22-25.

(责编 依然)