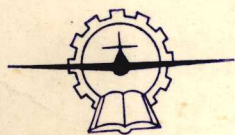


飞机和导弹 工艺装备制造



国外航空编辑部

1974年7月

飞机和导弹 工艺装备制造

(内部发行)

目 录

第 一 章	制造计划	(1)
第 二 章	工程基准系统和模线	(19)
第 三 章	标准工艺装备	(35)
第 四 章	光学定位	(53)
第 五 章	胶接、钎接和焊接	(68)
第 六 章	部件装配工艺装备	(103)
第 七 章	总装配	(119)
第 八 章	搬运设备	(136)
第 九 章	塑料工艺装备	(152)
第 十 章	塑料构件制造	(165)
第十一章	金属切削方法	(176)
第十二章	金属成形技术	(195)

第一章 制 造 计 划*

从前，一些新的大型飞机从初步设计到制出第一架生产型飞机要用十年或更多时间。第二次世界大战当中，为了缩短一种新飞机从构思或提出需要到生产出来所用的时间，人们做了很大的努力。

在战后年代，复杂的现代飞机发展迅速，致使一些设计方案在进行生产时已陈旧过时。此时在设计方面又有了新的构思。新机种在使用中的教训要用来修改设计。同时对再制部件要进行再加工。订货方要求承制方不断改善产品。在这种情况下设计工作必须以很高的速度进行。

飞机制造者生产的产品既大且贵，因而从开始设计起就要投入大量资金，并且设计又不能拖延时间。订货方总是要求尽快交付。因为它的竞争者（通常另一家航空运输公司）正在与别的制造者谈生意，以便获得相似的新机种。这自然驱使订货方希望抢先得到性能好、安全和生产维护费用低的产品。这也是从设计到交付所费时间正在缩短并趋向进一步减少的另一原因。*

生产安排成为一个大问题。设计在试验中失败，并需重新开始。工艺装备的制造常比预想的更困难。某些零、部件较费时间因而必须提前制造。计划需有弹性，同时还要经常检查和修订。生产安排实际上是由销售部门制订的。尽管修改设计需时间，订货者仍然要求早生产早交付。第一批产品常常是代价昂贵的手工制成的原型机。因为时间不允许建造经济生产所要求的复杂的生产工艺装备。

研究和工程试验 飞机和导弹制造者生产的新产品日趋复杂。飞机要求更高的升限、更快的速度和更大的起飞重量，其零件在更高的应力下工作。由于应力达到极限，为了保证安全必须发展新材料。当材料和以前适用的设计标准在接近极限条件下使用时，只有进行试验才能证明是否可用。当产品进入新的未经试验的使用条件时也只有进行试验方能鉴定其质量。制造者如不能用较长时间试验其成品，并努力改进以后的产品，那就是拿人的生命、国家的威望以及成百万美元冒险。单个元件必须试验以保证整机的安全可靠。

导弹一般有几十万个元件。每枚导弹的正常工作取决于每一个元件的精确无误。任何一个元件都应是必不可少的。假如一个零件在十万次使用中仅发生一次故障或滞后，可认为这个零件是精确的。巨大而复杂的导弹如果不能做到比这个更可靠，就不可能有一次成功的发射。或然率表明每一次发射都可能有一个或更多的零件失灵。今日的导弹由电子系统、燃料箱、供油系统和动力装置等组成。这些系统中的每个零件在任何时间都必须极准确地运转。

飞机也一样，必须进行试验以鉴定结构、材料、操作和工艺过程的质量。必须在事前付出人力和物力而不是在空中失事之后，通过试验找出薄弱点。

研究和发展情况 作为航空空间工业一个重要部分的研究工作必须使生产和结构设计与

* 作者是共和航空公司的罗勃特·费瑞茨曼和道格拉斯飞机公司的D·C·Richardson——原注

** 书中像这样宣扬资本主义观点的地方不是一处，请读者注意批判——译注。

其他科学相协调。航空空间工业富有竞争性，为了竞争有力不顾成本。空间领域的某些外国竞争者似乎不受成本的限制。如果性能有较大的改进，那么成本则往往很少考虑。技术优势是国家和公司的目标。

重量是一个较大的被考虑的问题。为减轻一磅重量花费几千美元，当它影响一个几百万美元方案的成败时，是可以不去计较的。

改进性能的要求迫使把现有材料用于接近其性能极限之处。不断研制的新材料带来了工艺方法、技术和设备上的新问题。采用高强度铝合金、钛和镁钎要求发展新的加热成形技术。钛还带来切削加工的困难。这些问题的解决为解决更大的问题，钎、烧结材料（Sintered materials）和超级合金的问题铺平道路。

未来数年将使用的材料给生产者带来许多严重的问题。某些材料特别难成形，另一些材料用现有工艺方法和设备则不能机械加工。进一步的要求包括耐冷材料和高温结构，其耐冷和耐温的程度比现有结构要大得多（低温低至 $1/3$ ，高温高达3倍）。航空空间面临发展新方法、新设备和新技术的严重问题。结构在更高的温度下工作导致采用高比重的金属。在未来结构中对消除过重有重要意义的是：

1. 提高在整个工作温度范围内的承载能力，即探索那种在达到最大工作温度之前不至发脆的合金；
2. 改善材料的制造特性：较大的塑性，更好的可焊性以及改进其他影响制造工序的性能；
3. 提高毛坯精度，即缩小薄钎件、棒料挤压型材、锻件和铸件的允许公差。

新订货手续 航空空间工业的新订货或由订货者的要求或由于公司的研究结果而开始。一个或数个订货者可能认为为了一个特殊目的需要新设计。订户或订户小组会制订一项一般规范，同时提给一个或几个制造商以便开始商谈。在另一些情况下，特别是在民用领域，公司要不断研究市场和抢在订户前面。它们的初步设计部门要经常先进设计方案方面下功夫。一般规范可由设计公司制订提给订户。

当某项建议已提出，成本情况就成为考虑的重要事项。谈判前必须做好仔细的成本计算工作。初步成本计算工作通常是一般性的，是为了造预算，而不是为了确定出厂价格。如果谈判继续进行，修改设计可要求追加估价。方案的各种情况都要审核到，以便确定最终的出厂价格。

峰值生产的短周期 当航空空间获得一项订货时，通常都是一个较小数量产品的合同。一张一百或二百架飞机（或导弹）的订单已经是大订单了。

和平时期的飞机军事订货是为了保持空中武装力量。要在比较短的时间内提出更新、更好的设计来是必然的，这同其他因素（譬如针对整个其他军事需要分配资财的问题）共同造成保持制造较小数量产品订货的趋势。

民用订货必定也不大，因为没有一家公司能够拥有并使用大量昂贵的飞机。何况分布到整个工业界为数不多的订户和承制者都希望早日交付，因而任何一家工厂只能生产交付产品的相当小的数量。

至于导弹，由于提出指标设计的竞争者多以及结构迅速陈旧，生产量也是很低的。

许多因素促成并继续促使订货量较小。当这些少量订货进入生产并日益要求缩短生产周期时，第一架生产型常作为用以暴露设计和生产中的问题并进行修正的原型机，随着生产、

工艺装备和技术问题的解决以及生产人员越来越熟练，生产以后产品所需时间越来越少。当确定交付计划时通常要关心时间缩短曲线。初始交付将安排为每单位消耗时间*交一或两架，而在合同结尾时每单位消耗时间交付架数可接近最初数量的五至十倍。这取决于总订货量，每单位会计年度订户准备投入该项目的全部经费，产品的大小和复杂程度以及许多其他因素。

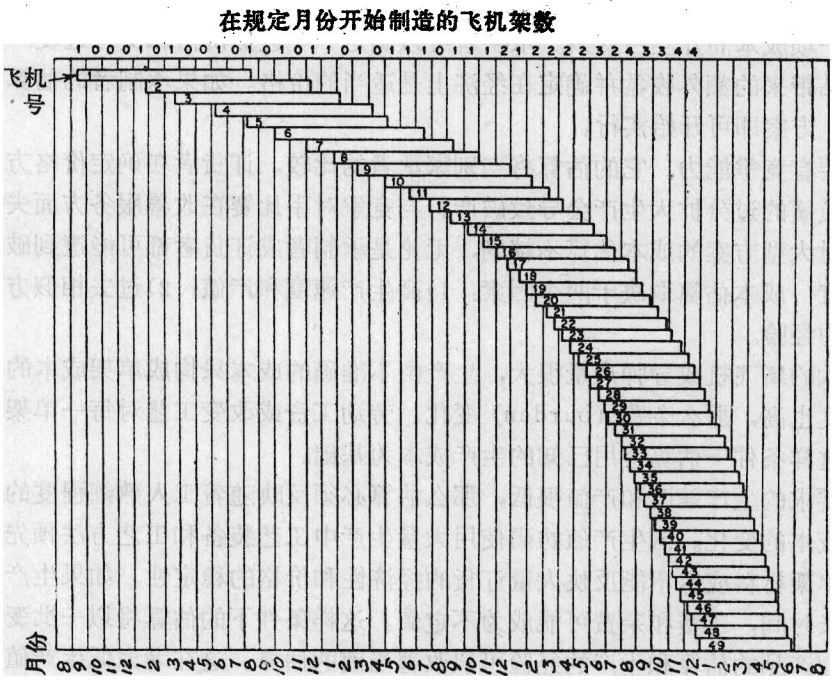


图 1—1 道格拉斯公司生产进度变化表

生产峰值（最大产量）在最后第三批投产前不会出现（见图 1—1）。由于产品数量不大，生产峰值期持续不会超过三或四个月。制造第一架的那些人员，因为掌握了生产将一架比一架有进步，同时不断降低每架制造工时。这使他们可以完成加速交付的进度计划。

设计更改 制造像飞机或导弹这样复杂产品的工艺技术有大量分散又互相协调的问题要解决。而每一个问题又有几种可能的解决办法。解决的办法取决于现有的材料、工艺装备和设备，成本和计划，从事有关问题的工程师的判断以及其他因素。在进度计划和不断改进设计之间必须有协调。一个技术小组不可能生产出一套图纸而不需要或不应该改进或修正。因此更改设计就成为预料到的和必须的一部分工作。

在工装制造和第一架产品制造的最初阶段将发现并修正大量的小尺寸和装配协调问题。这些项目可能导致大量昂贵的单独部分的更改。以后阶段的更改以降低成本和提高制造工艺性为准。随着更多产品生产出来，设计日益完善，更改将减少，费用降低。累积更改量和它们的费用是趋向减少的。更改费用的变化在以产品架数为横坐标的坐标纸上为直线。所制产品增加，更改费用则趋于平稳。这将可能就单架产品取累积费用的平均值。有时这个数值可能多少低于所制产品。过去制造类似结构的记录将提供制定成本估算公式的数据。

* 译注：单位消耗时间 (elapsed time unit) 或译单位制造周期。

利用以前类似结构成本制定的估算表是考虑可能工艺装备成本的宝贵工具。当然，必须加上对所研究的个别情况的考虑。相似程度和适用程度如何则要由制定者自己判断。

成本估算

预先确定新飞机或导弹的准确成本是不可能的。同时任何一个民用或军用订货单位都不能随意同意一项成本而开空白支票。承制者可以确定一个近似价格和交付进度。而订货者则将计算新产品带来的额外收益并确定在经济上是适当的价格。如果承制者的估算在订货者价格的范围内，方案即可开始实行。

承制者要有竞争能力。它的估算将与别家承者的比较。订货者在确定价格方面应该是现实的。伴同负债的过分扩大生产会导致破产。与竞争对手比赛在改善服务方面失败也会造成破产。由于对大型方案的成本估算不精确，无论是承制者或订货者都可能遭到破产。

估算精度 成本估算取决于两个因素：1)高生产速度和产值；2)过去相似方案的生产和成本估算中的经验。

如果订购的新飞机或导弹产量很大，生产中不准确的成本只构成单架成本的一小部分。如果生产速度也高，那么杂费 (burden) 变化、劳动工资或改变工艺对每一单架价格的影响都不大。在这样条件下估算可用已知的生产成本为基础。

如果所要求的生产速度和产值很低，那么估算必须反映随着工人熟练程度的提高每一架飞机的工资成本的变化。低生产值妨碍使用大量生产中工艺装备和工艺方法预先给出稳定的成本数据。单架材料成本不能反映大量订货的经济性和价格的稳定性。如果生产在低生产速度下持续很长时间，工资和杂费可能成为不定值。这样条件下的估算将以一批变量为基础。

过去相似产品的估算和生产的经验可以改善当前的估算。这在考虑低生产值时是有特殊意义的。

在谈判的最初阶段有一个粗略估算就够了。这样的估算必须有以后的订正才能被接受。粗略估算对避免经济上无根据的冒险有很大意义，从而不必再为建议、正式成本估算和进一步谈判花费大量费用。同时原始粗略估算也能推动和肯定进一步投资。

谈判如果经受住初次审核，就要准备精确的成本估算。设计小组将拿出所制飞机的初步图纸，制造工程师与设计小组协商把整架产品分解为工艺预装组合件。发出预装组合件和零件的初步图纸。制造工程师将研究每一份图纸并确定每一零件所需原材料的数量、每一预装组合件所需的外购件、怎样制造每一零件以及怎样装配每一预装组合件。工装工程师将与工艺工程师协商确定工艺装备要求，然后设计工艺装备。关于所需原材料和外购件以及外购的各种工夹具的申请将提给供应部门的专业人员。需要提出关于许多零件和预装组合件的申请，以便批准或修订原定自制或外购计划。生产组织工程师协同工艺工程师将确定每一生产周期所需工时的准确数字。生产计划专业人员将同制造工程师一起确定现有设备有多大生产能力以及需要什么新设备。厂房工程专业人员和制造工程师以及材料供应专业人员一起将确定所需使用面积、设备安装费用和共用设施等等。质量控制专业人员将确定检验方法和所需设备。

全部数据最后送到财务分析小组。这些数据和情况包括单架产品所需要的原材料总数，材料成本、单架产品上用的外购件及其成本，单架产品所需的工时数、实现方案所要求的设备及其成本、所需工装及成本以及制成品的接收、搬运、水路或陆路运输的费用。利用已知

的各部门和各项工作的杂费，再加上各项成本和利润系数，分析人员可以算出相应的出厂价格。

通常设立一个评议委员会以审查整个指标和需要重新进行详细计算的地方。按理要审查所有数据，其中有些送回重新分析。委员会可以要求用能得到较低成本的另一方法进行分析。这个委员会包括来自所有职能部门的专业人员。来自各职能单位的代表对项目各部分成本的讨论常能准确指出那些需要制定另外可接受的选择方法的地方，从而导致提出更大的指标数字。这时，所需面积和追加的投资将影响另一些未来计划，必要时该方案最后可能放弃。所有需要的数据集中以后，委员会进行最后审核，以评定所提出的任务对其他已做过的委托工作、资金构成、设备、技能和现有面积的影响。

学习（掌握）曲线 航空空间工业估算人员使用一个重要数学工具是学习曲线概念。学习曲线是以观测以下情况为基础的，即工人通过实际操作掌握技术，他们完成工作所需工时不断下降。实际上，重复同一工作所需工时的减少有许多原因，如方法的改善、工艺装备的改进、工人技能的提高以及各种误差的改正等。图1—2的学习曲线表示的是一种情况，在这种情况下，每装配一个任意数量的零件所需累积工时约为装配一半数量时相应工时的80%。装配、机械加工、冲压和铸造等的曲线是不相同的。手动进给的冲压工序的典型曲线已经达90%，清除毛刺、打磨、手工成形和某些装配工序达80%。另一些装配工序的曲线则很陡，达65%或70%。

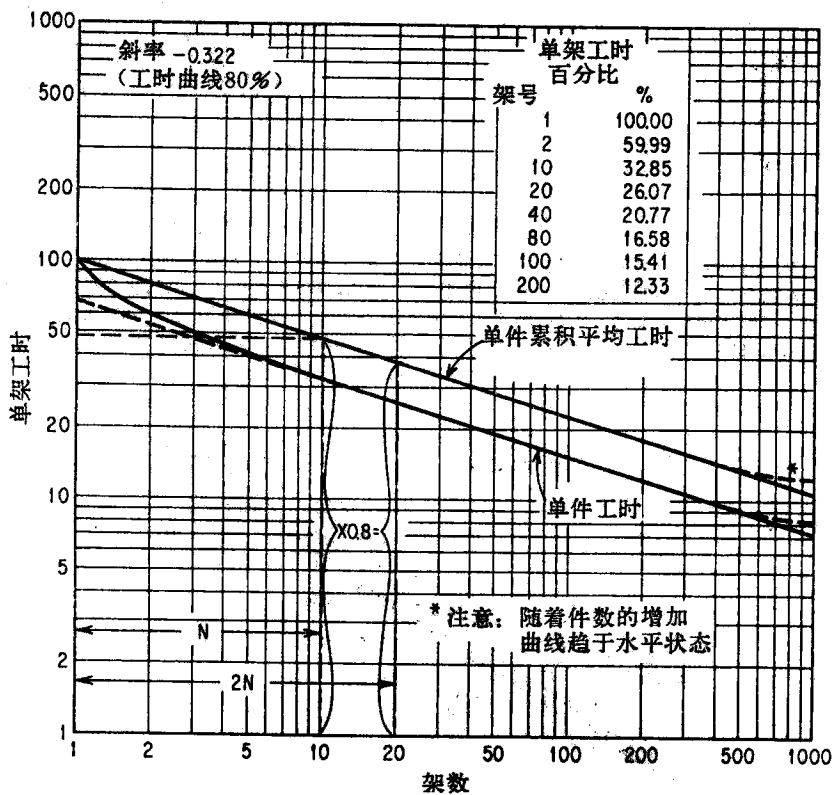


图 1—2 工时递减（学习）曲线

确定工艺装备需要量

工艺分解 (Production Breakdown)

虽然一架新飞机(或导弹)是作为一个完整结构设想的,但它不能那样制造出来。在设计早期阶段,飞机被划分为许多段件。段件又分为组合件,最后划分为单个零件。在开始研究正式成本之前,就要确立好分解方案。为了研究成本,需要绘制各个构件的初步图纸。

图 1—3 是把一架典型飞机划分为各种构件的情况。图 1—4 是一枚典型导弹的分解图。

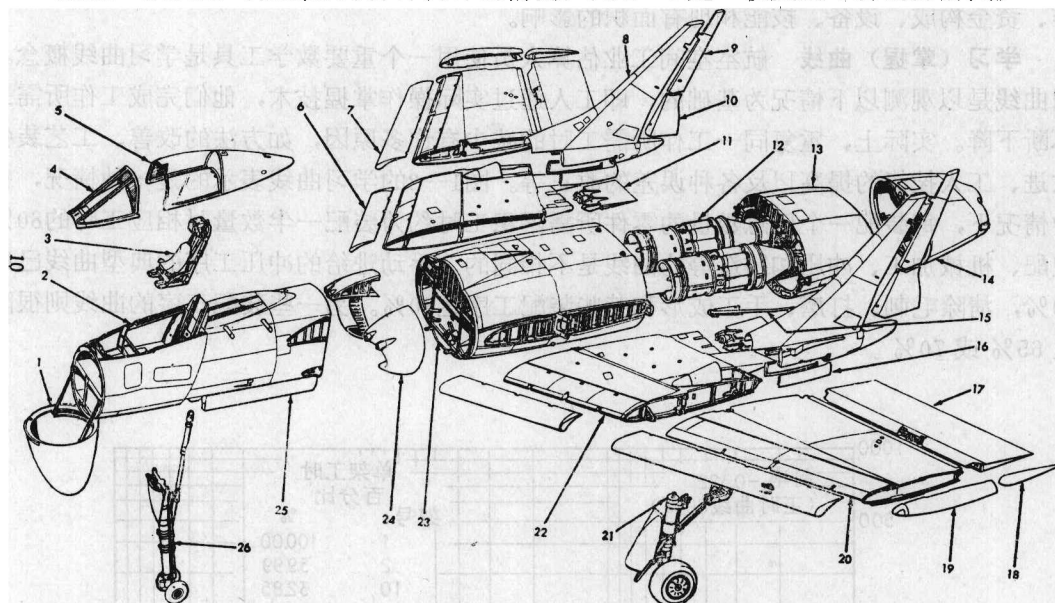


图 1—3 飞机的初步分解 (钱斯·渥特飞机公司)

- | | | | | | | |
|----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1. 雷达罩 | 2. 机身前段 | 3. 弹射座椅 | 4. 风挡 | 5. 座舱盖 | 6. 中翼前缘缝翼 | 7. 外翼前缘缝翼 |
| 8. 安定面 | 9. 舵面 | 10. 辅助舵面 | 11. 减速板 | 12. 喷气发动机 | 13. 机身后段 | 14. 机尾锥罩 |
| 15. 减速伞钩 | 16. 主起落架舱盖 | 17. 副翼 | 18. 副翼翼尖 | 19. 机翼翼尖 | 20. 外翼 | 21. 主起落架 |
| 22. 中翼 | 23. 机身中段 | 24. 发动机进气道 | 25. 前起落架舱盖 | 26. 前起落架 | | |

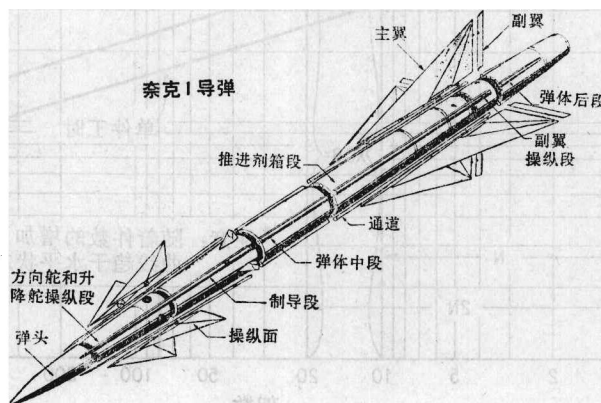


图 1—4 导弹的初步分解 (道格拉斯飞机公司)

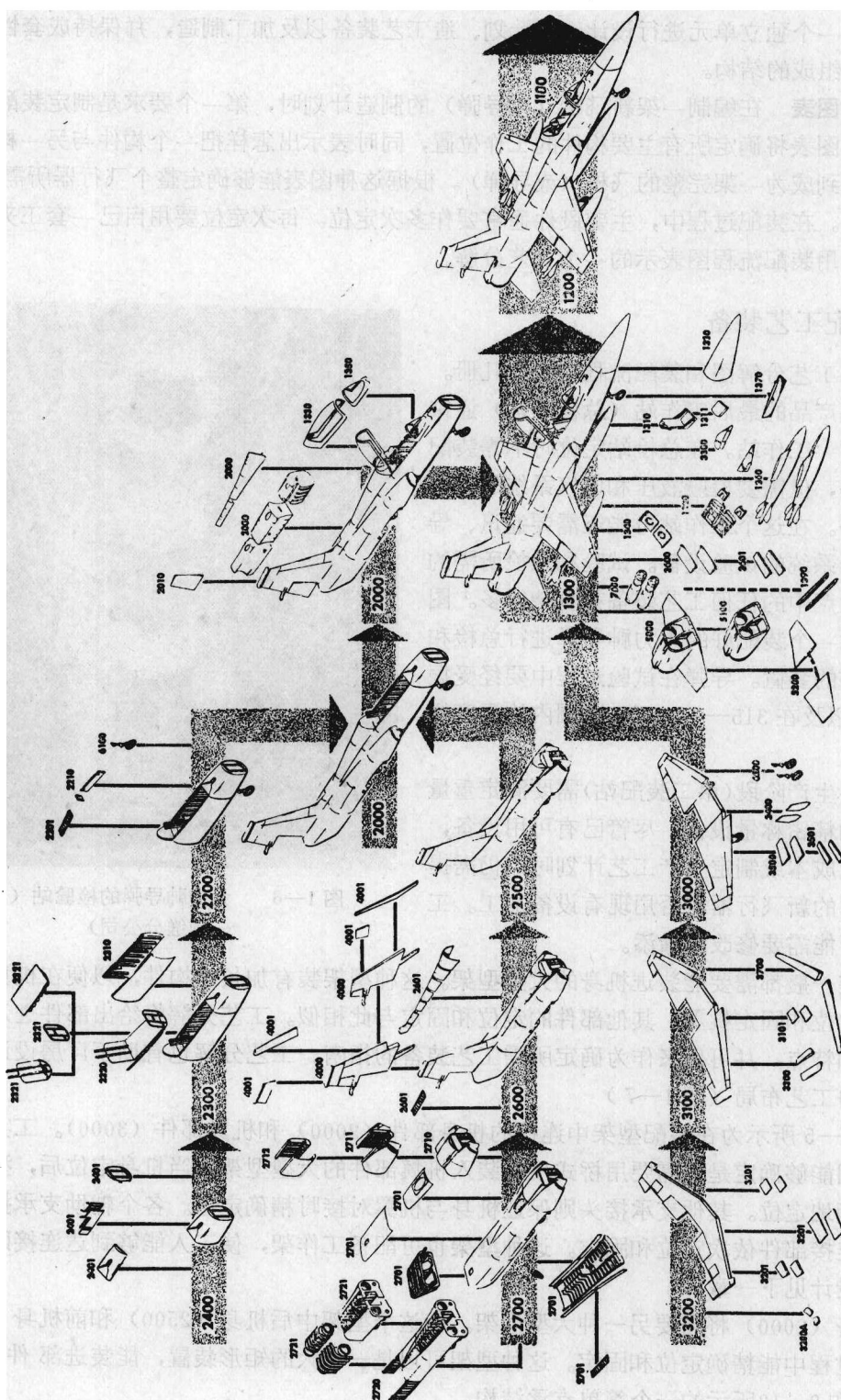


图 1-5 装配分解 (诺斯罗普-诺瑞分公司)

工艺分解对飞机和导弹的设计与制造很重要。每一主要段件都应编给一个识别号。这些段件作为一个独立单元进行设计、编计划、造工艺装备以及加工制造，并保持成套性，直至连接为所组成的结构。

流程图表 在编制一架新飞机（或导弹）的制造计划时，第一个要求是制定装配流程图表。这种图表将确定所有主要构件的工作位置，同时表示出怎样把一个构件与另一构件连接起来，直到成为一架完整的飞机（或导弹）。根据这种图表能够确定整个飞行器所需的主要工艺装备。在装配过程中，主要段件通常要作多次定位。每次定位要用自己一套工夹具。图 1—5 为用装配流程图表示的一个工艺分解。

装配工艺装备

一套工艺分解图和装配流程图有好几册。开始完成产品的最后工作站（总检验站）通常称之为第一工作站。在总检站定位时不需装配工艺装备，但需要检验液压和电气系统的专用地面设备。在这个工作站可能还需要通讯、导航和武器系统的试验设备。试验和总检所需的设备比生产中的任何工艺装备都复杂得多。图 1—6 为对一个装配好的大力神导弹进行总检和试验所需的装置。导弹在试验过程中要经受振动、受载以及在 $315-184^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度的作用。

下一生产阶段（第二装配站）需要测定重量和平衡的精密称量设备。尽管已有可用设备，但在研究成本或制定生产工艺计划时，仍需提出计划中的新飞行器能否用现有设备加工。工艺装备可能需要修改或增添。

总装一般都需要能装进机身的大型型架。这种型架装有加长的构件，以便在机翼与机身对接时定位和固定机翼。其他部件的定位和固定与此相似。工艺分解将给出部件进入总装时的尺寸和特点，并可用来作为确定所需工艺装备的指南。工艺分解也有助于厂房设计工程师完成厂房工艺布局（图 1—7）

图 1—5 所示为在装配型架中连接的机身部件（2000）和机翼部件（3000）。工具工程师根据该图能够确定是否需要用桥式吊车装入机翼部件的大型型架。当机身定位后，型架可使机翼精确地定位。其他支承接头则保证机身与机翼对接时精确定位。各个辅助支承接头可使其他待连接部件依次定位和固定。这种型架也可配备工作架，使工人能够到达连接区。总装型架的设计见下一章。

机身（2000）将需要另一种大型型架。在这个型架中后机身（2500）和前机身（2200）在连接过程中能精确定位和固定。这种型架可以是一个大的矩形装置，能装进部件或如图 8—12 和 8—13 所示的一个简单支承结构。

图 1—8 是一架飞机装配流程图和工艺划分图的一部分。图中所示的机头部分在安装前起

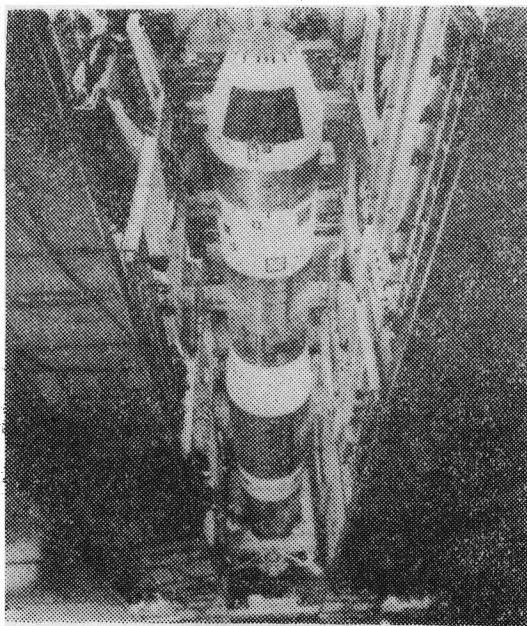


图 1—6 大力神导弹的检验站（马丁—顿维分公司）

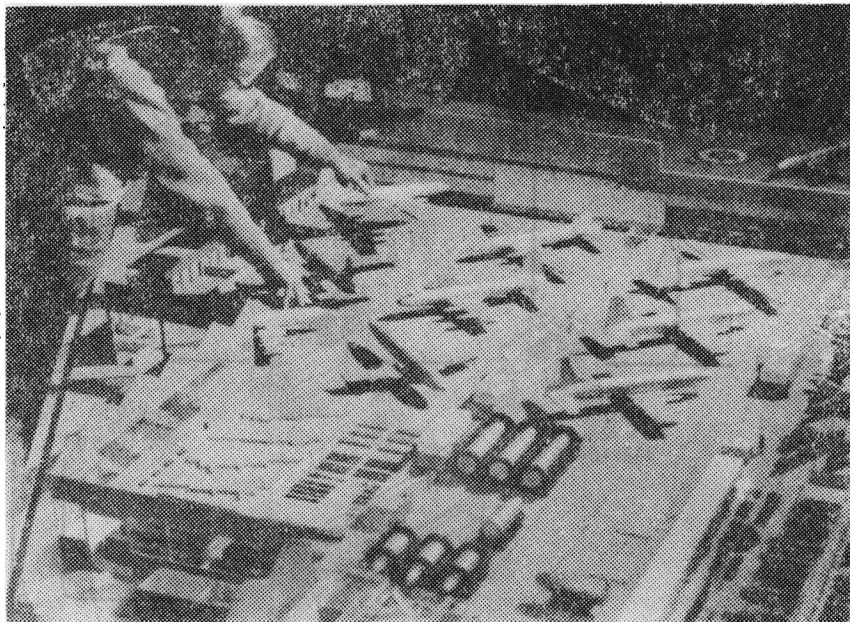


图 1—7 工艺布局 (肖特兄弟与哈兰得公司)

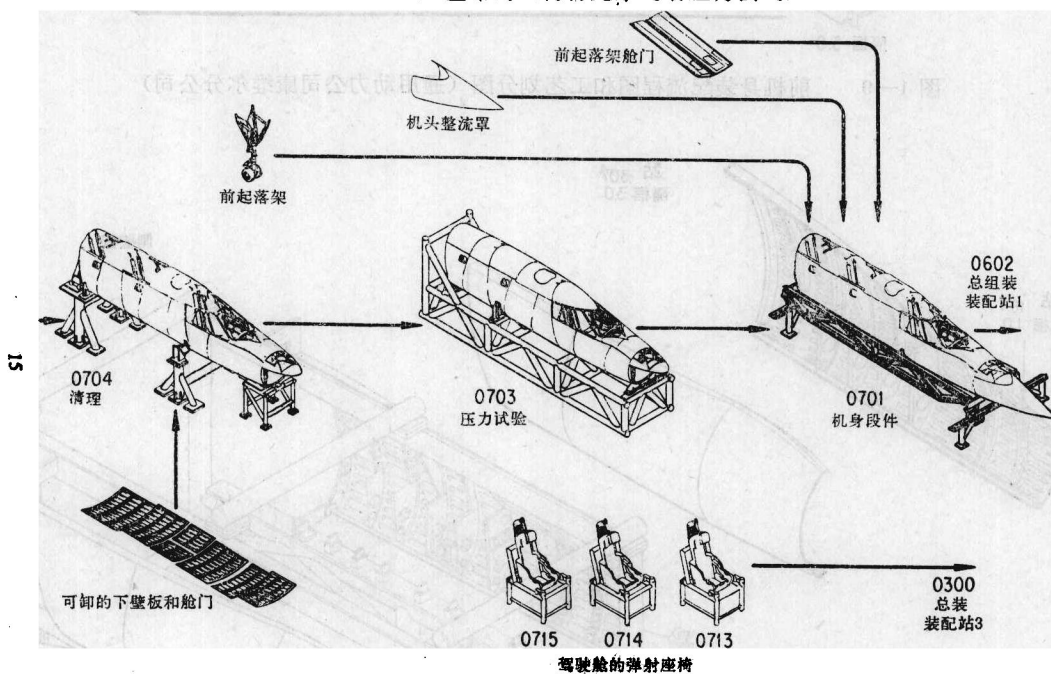


图 1—8 机头部分装配流程图和工艺划分图 (通用动力公司康维尔分公司)

落架和整流锥时需用一个大型装配型架来定位和固定(0701)。第二个大型型架用于主要段件进行压力试验(0703)。当进行小清理工作时需要另一型架固定主要段件(0704)。

图1—9是装配流程图和工艺划分的继续,其中的大型装配型架用于机头部分主要构件的定位和连接(0704)。侧壁板和隔框的连接则需要较小些的夹具(0706)。图1—10装配夹具用于把蒙皮和骨架部件连成侧壁板(0707)。图1—11的夹具用于连接隔框零件。

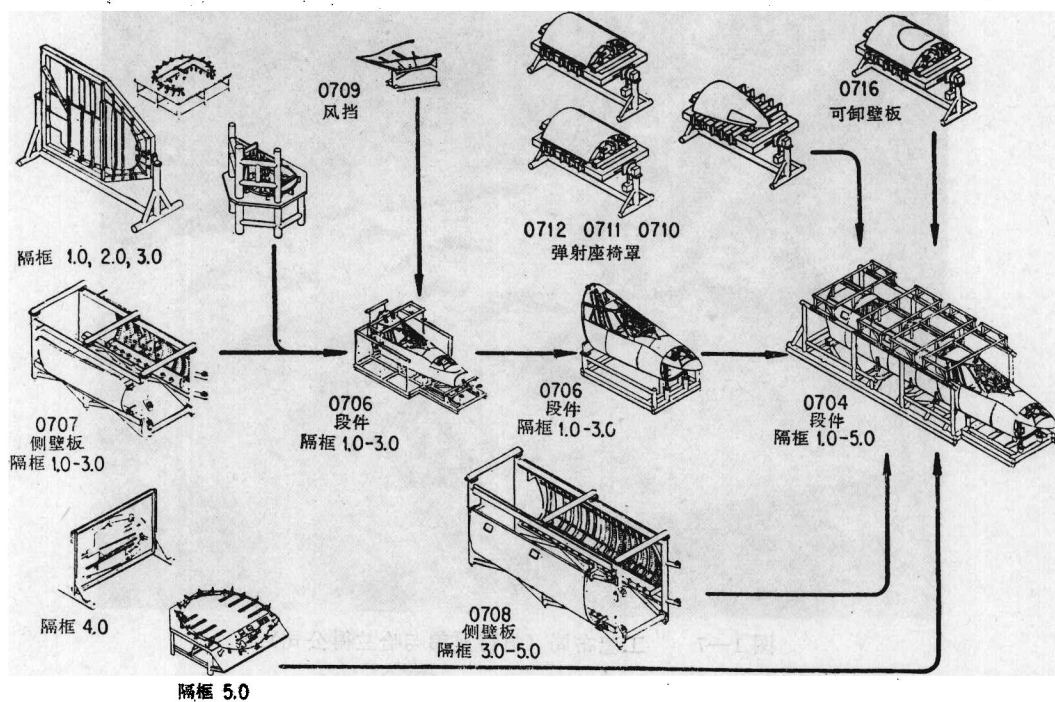


图 1—9 前机身装配流程图和工艺划分图 (通用动力公司康维尔分公司)

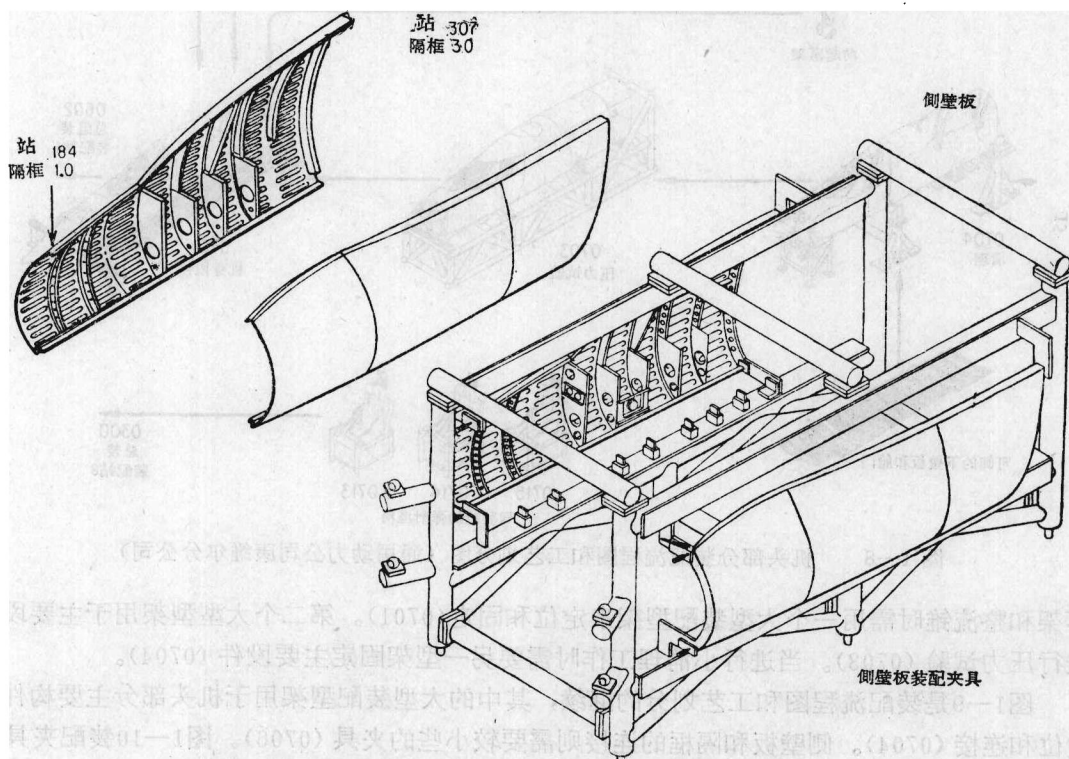
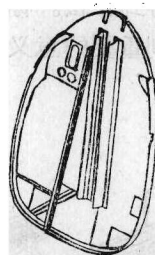
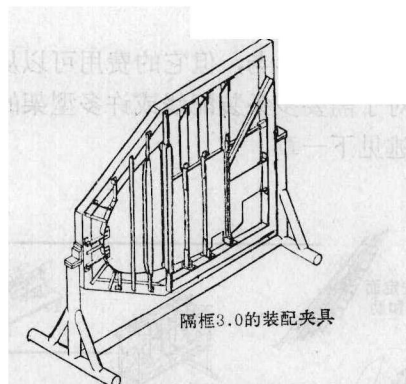


图 1—10 侧壁板装配夹具 (通用动力公司康维尔分公司)



站 30
隔框 289.88



隔框3.0的装配夹具

图 1—11 隔框装配夹具（通用动力公司康维尔分公司）

图 1—12 是可用以确定后机身部分所需装配工艺装备的装配流程图和工艺划分图的另一部分。

图 1—13 是后机身装配流程图的继续，回溯到安定面、侧壁板和隔框的装配。

装配工艺装备可直接按图纸和蓝图制造。图 1—12 中工序 0901、0902 和 0903 所需型架就可这样制造。每一型架必须依次按图纸进行设计和定尺寸。如果制备一个具有完工工件基准点的标准样件，那么三个型架就可以按标准样件的实际基准制造。工程设计和标定尺寸能一次完成而不用做三次。就工程设计而言，用于支承重量最大的完工部件的型架足以支承得住前面装配站重量较大的构件。就尺寸标定而言，从图纸到标准样件一次传递，可以避免对单个型架多次传递可能造成的误差。

在图 1—12 的示例中，一个标准样件将简化三个主要装配型架的制造。标准样件在飞机

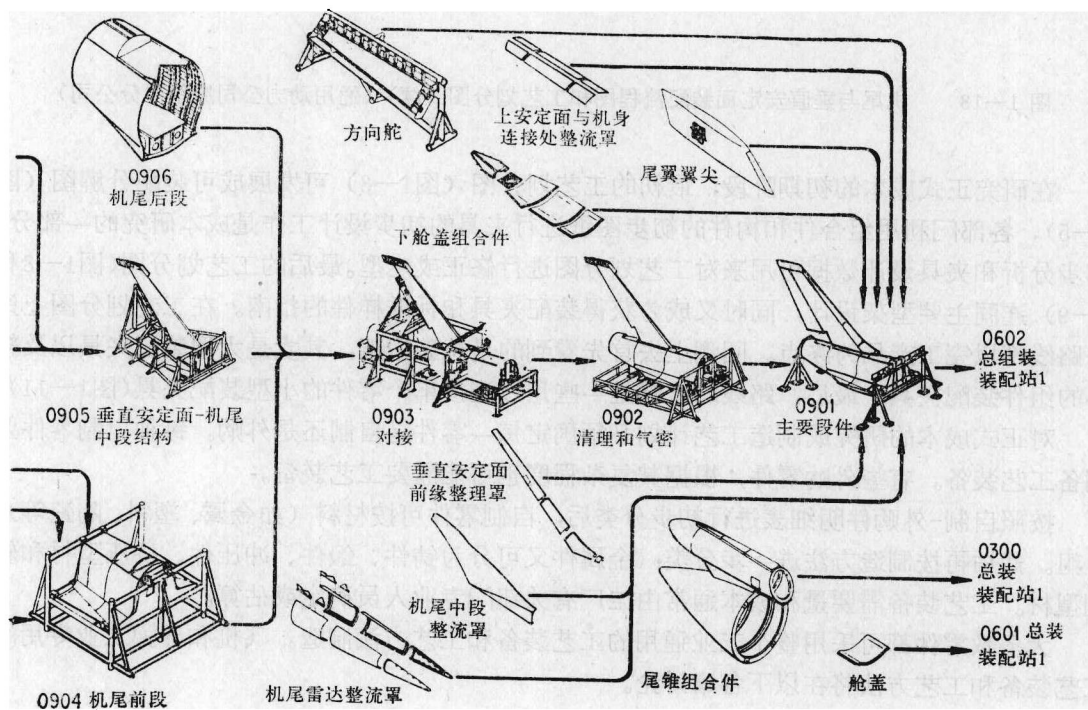


图 1—12 机尾与垂直安定面装配流程图和工艺划分图（通用动力公司康维尔分公司）

装配中虽然不直接参与,但它的费用可以从型架成本的降低中得到补偿。标准样件在经济方面的优点对于需要多条装配线或许多型架的大量生产来说有特别重要的意义。关于标准样件的详细叙述见下一章。

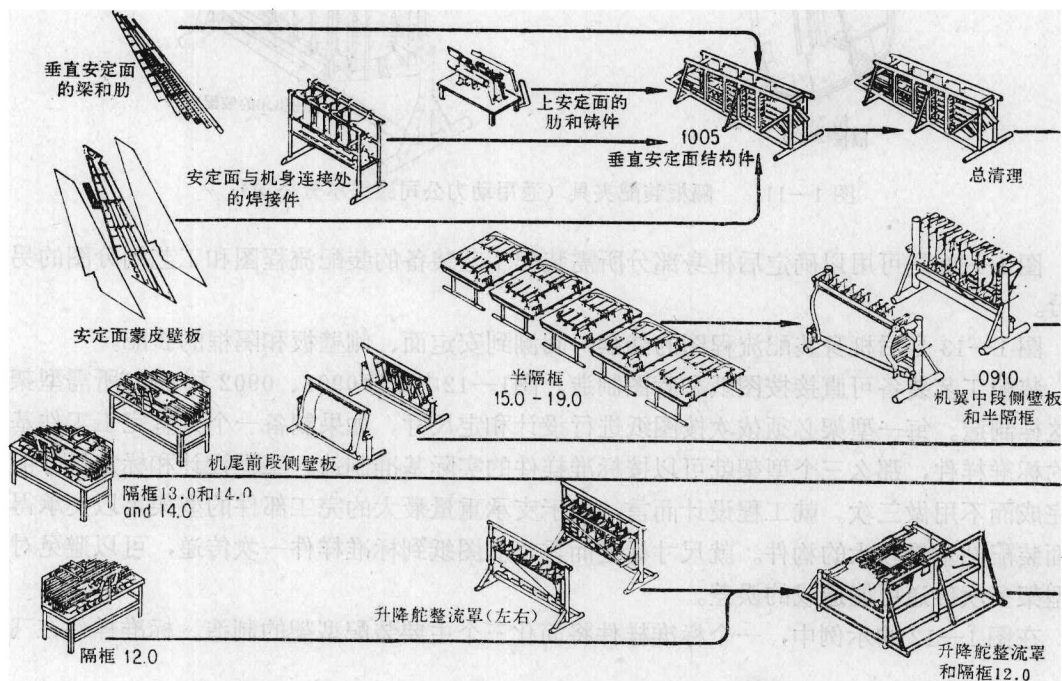


图 1—13 机尾与垂直安定面装配流程图和工艺划分图(续)(通用动力公司康维尔分公司)

在研究正式成本的初期阶段,最初的工艺划分图(图1—3)可发展成可装配分解图(图1—5)。各部门利用组合件和构件的初步图纸进行夹具的初步设计工作是成本研究的一部分。初步分析和夹具设计数据可用来对工艺划分图进行修正或定型。最后的工艺划分图(图1—8和1—9)连同主要型架设计,同时又成为获得装配夹具和标准样件的指南。在工艺划分图上许多路线都以完工产品为终点。回溯上去首先看到的是总装型架,其次是大型装配夹具以及较小的组件装配夹具。最后,路线的末端是一些用以连接单个零件的小型装配夹具(图1—11)。

对正式成本的研究或制造工艺计划必须确定每一零件是自制还是外购。每种自制零件要制备工艺装备。有些外购零件,根据其复杂程度也可能需要工艺装备。

按照自制-外购件明细表进行初步分类后,自制零件可按材料(如金属、塑料、陶瓷等)分组。然后再按制造方法进一步分类:金属件又可分为铸件、锻件、冲压件、挤压型材和轧制型材。工艺装备需要量和成本通常由工厂有关部门专业人员确定或估算。

大多数零件都可采用整个工业通用的工艺装备和工艺方法制造。飞机和导弹工业专用的工艺装备和工艺方法将在以下各章讨论。

生产速度和进度计划

工艺装备方面的考虑

工艺装备的复杂程度和耐久性取决于预定的生产速度和产量。考虑到质量则要求制造最小量的工艺装备。一个简单的前缘肋既可用木锤和型胎手工成形，也可在压力机上用成形模和橡皮垫成形，也可用塑料模成形或用一副金属模成形。每种制造方法对某一特定生产速度或产量来说是最经济的。完工工件的质量在一定程度上影响制造方法。如果所要求的质量只有用昂贵的对合式的金属模才能保证，那么即便只制造几个零件，也要提供这种工具。

尽管整个产量可用一套工具制造出来，生产速度也往往会迫使生产复制工具。由于预定的生产速度还会不得不外购许多组合件，否则工厂就得自己制造，从而使造成工艺装备工作量过重和超过总产量所要求的耐用程度。

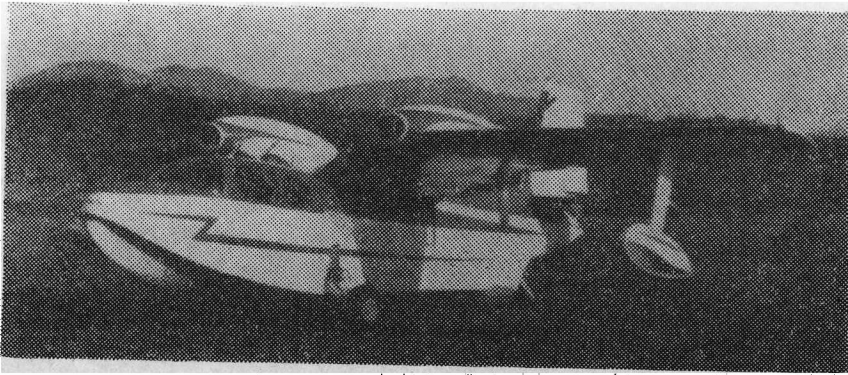


图 1—14 商用飞机（皮阿吉奥公司）

小批生产用工艺装备 图 1—14 是一种已经生产了一些时间的商用飞机。图 1—15 为已装配有隔框、桁条、骨架和蒙皮的主要装配型架。图 1—16 是正待装上蒙皮的机身。图的背景处可看到机翼主要装配型架。图 1—17 为总装前进行清理的机身。

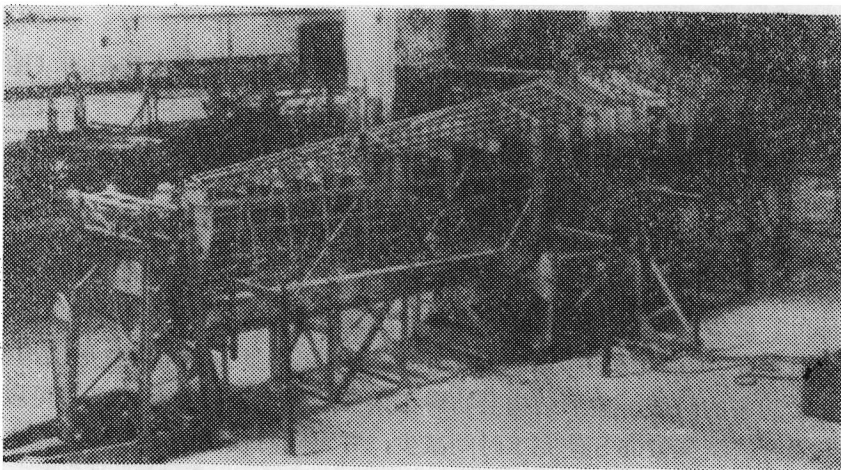


图 1—15 主要装配型架（皮阿吉奥公司）

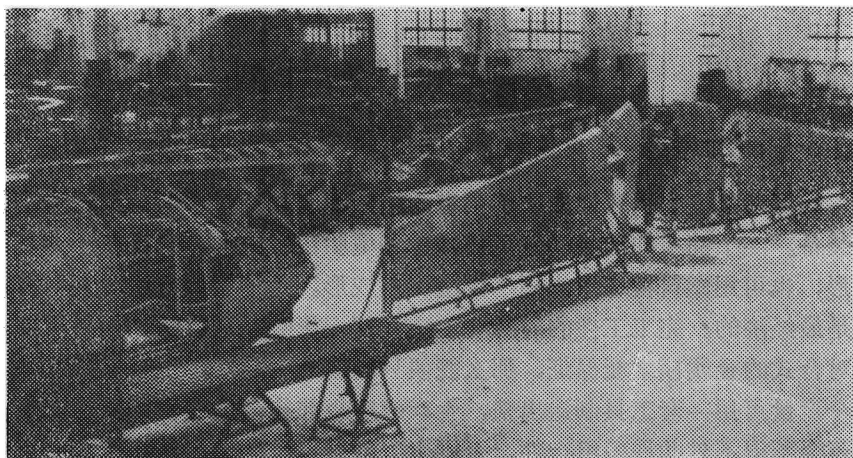


图 1—16 装配工序 (皮阿吉奥公司)

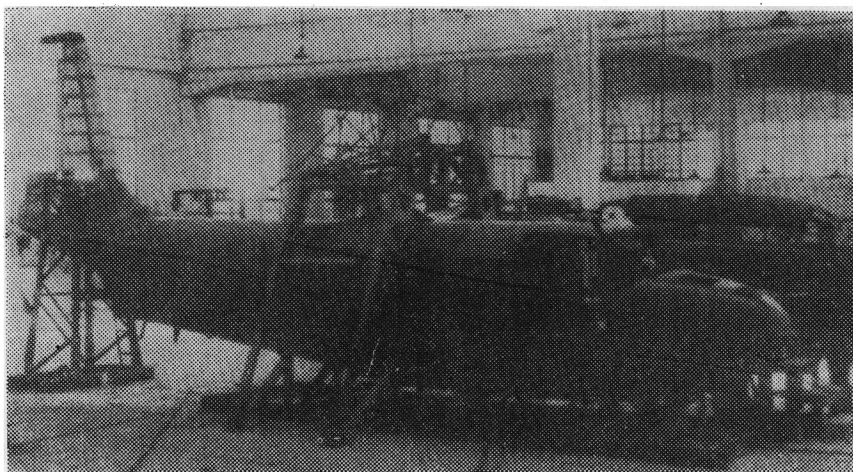


图 1—17 机身总装和清理 (皮阿吉奥公司)

由于生产速度低,趋向减少飞机段件数量。机身是在一个型架上装配的(图1—15)。由于生产速度低,采用昂贵精致的工艺装备一般是不适宜的(请注意图 1—5 机身装配型架的轻型结构和图 1—16 机翼装配型架的木质结构)。如果工人的技术水平高,型架和工装数量可相应减少。

大批生产用工艺装备 从图 1—8 可看到 3 个装配站(0701、0703和0704),从图 1—9 至少可看到 3 个以上的装配站(0704、0706 P 和0706 S)。这些装配站全都是用来装配机身头部的。对机头部分广泛分段是高生产速度的一种典型工艺划分。从图1—9(0706 P 和0706 S)还可看到高度的分散化、专业化和劳力分工。部件的连接和初步装配需要盒形结构型架 0706P,但当把部件连接起来的时候,盒形结构会妨碍工人完成生产工序。整个工序可以在第一台型架上完成。增添开式型架0706 S 使完工时间减少,并可同时使用两个型架,使生产速度提高一倍。