



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 飞机模线样板 ·

航空工业出版社

技术编辑：程志远
封面设计：霍振源

ISBN 7-80046-676-0/V · 148
定价：44.00 元

航空制造工程手册

飞机模线样板

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1 9 9 3

(京)新登字 161 号

内 容 提 要

本手册是飞机制造用模线样板专业的工具书。它包括概述、理论模线设计、结构模线设计、样板设计与制造、模线晒相和附录。本手册简明地给出了模线设计的各种计算方法和基本公式；具体介绍了应用计算机建立飞机外形数学模型和数控绘制模线的基本方法；用大量图表总结了样板设计的方法和样板制造的途径；详细地给出了模线晒相的各种配方和操作程序；在附录中列出了模线样板用的材料、工量具和设备。

本手册可供飞机制造业从事模线样板工作的技术人员和模线样板钳工使用，也可供航空院校师生和有关技术人员参考。

航空制造工程手册

飞机模线样板

《航空制造工程手册》总编委会 主编
责任编辑 程志远

© 1993

航空工业出版社

(北京市安外小关东里 14 号)

— 邮政编码：100029 —

全国各地新华书店经售

航空工业出版社印刷厂印刷

1993 年 12 月第 1 版 1993 年 12 月第 1 次印刷
开本：787×1092 毫米 1/16 印张：24
印数：1—1500 字数：632 千字

ISBN 7-80046-676-0/V·148 (平装)

ISBN 7-80046-677-9/V·149 (精装)

定价：44.00 元 (平装) 59.00 元 (精装)

序

我国航空工业已走过了四十余年的历程，从飞机的修理、仿制到自行研制，航空制造工程得到很大的发展。在航空高科技产业的大系统中，航空制造工程是重要的组成部分之一。航空工业，就其行业性来讲，属于制造业范畴。航空制造工程的技术状况，是衡量一个国家科学技术发展综合水平的重要标志。航空制造工程的发展水平，对飞机的可靠性和使用寿命的提高、综合技术性能的改善、研制和生产成本的降低、甚至总体设计思想能否得到具体实现等均起着决定性作用。

航空制造工程已成为市场竞争的重要基础，要发展航空工业、并有效地占领市场，不仅要不断地更新设计，开发新产品，更重要的是要具备一个现代化的航空制造工程系统。在发达国家中，均优先发展航空制造工程，很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空制造工程中领先使用的，因此必须从战略高度予以重视，并采取实际而有效的措施加速它的发展。编写《航空制造工程手册》，就是为实现航空制造工程现代化的战略目标，在制造工程领域进行的基础性工作。

四十年来，我国航空工业积累了大量经验，取得了丰硕的成果，特别是改革开放以来，开扩了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这容量浩繁、层次复杂、学科众多的科学技术和经验汇集起来，使之成为我国航空工业、乃至国家的珍贵财富，是一项具有重大实用价值和长远意义的任务，为此航空航天部决定组织全行业的办量，统一计划、统一部署完成这项极其复杂的规模巨大的系统工程。大家本着继往开来的历史责任感和紧迫感，从1989年开始组织航空工业全行业制造工程方面造诣至深的专家、教授、学者，经过几年的努力陆续编写出版了这套基本覆盖航空制造工程各专业各学科的包括三十二个分册、几千万字的《航空制造

目 录

第 1 章 概述

- 1.1 模线样板技术产生的背景 (1)
- 1.2 模线样板技术的基本内容 (1)
- 1.3 模线样板在飞机制造中的作用 (1)
- 1.4 采用模线样板技术的飞机制造协调
路线 (1)
- 1.5 我国模线样板技术的发展 (2)

第 2 章 理论模线设计

- 2.1 定义 (3)
- 2.2 用途 (3)
- 2.3 技术准备工作 (3)
 - 2.3.1 审查和熟悉图纸资料 (3)
 - 2.3.2 编写设计说明书 (4)
 - 2.3.2.1 作用 (4)
 - 2.3.2.2 内容 (4)
- 2.4 一般规定 (4)
 - 2.4.1 坐标系、基准线和坐标网线 (4)
 - 2.4.1.1 坐标系 (4)
 - 2.4.1.2 基准线 (5)
 - 2.4.1.3 坐标网线 (5)
 - 2.4.2 视图方向 (6)
- 2.5 基本计算和作图方法 (7)
 - 2.5.1 二次曲线法 (7)
 - 2.5.1.1 已知曲线上五点计算二次曲线的
显式方程 (7)
 - 2.5.1.2 已知曲线上四点及其中一点处斜率
计算二次曲线的显式方程 (7)
 - 2.5.1.3 已知始、顶、终点和曲线上另一点
计算二次曲线的显式方程 (8)
 - 2.5.1.4 已知始、顶、终点和判别值,求二次
曲线的显式方程 (9)
 - 2.5.1.5 显式方程中根式正负号的
判别 (10)
 - 2.5.1.6 二次曲线段的共轭 (11)
 - 2.5.2 差分法 (12)
 - 2.5.2.1 差分表的编制 (12)
 - 2.5.2.2 应用差分法进行曲线光滑 (13)
 - 2.5.2.3 差分法的主要插值公式 (14)
 - 2.5.3 比例作图法 (18)
 - 2.5.3.1 三角形比例尺 (18)
 - 2.5.3.2 梯形比例尺 (20)
 - 2.5.3.3 圆形比例尺 (21)
 - 2.5.3.4 绘制进气道唇口纵切面 (22)
 - 2.5.4 球面三角法 (23)
 - 2.5.4.1 常用的球面三角计算公式 (23)
 - 2.5.4.2 用球面三角法计算空间平面间的
交线和夹角 (24)
 - 2.5.5 负量计算法 (27)
 - 2.5.5.1 负量计算的常用公式 (27)
 - 2.5.5.2 用矢量法计算空间平面的交线与
夹角 (29)
 - 2.5.6 样条曲线法 (31)
 - 2.5.6.1 插值三次样条函数 (31)
 - 2.5.6.2 三次参数样条曲线 (38)
 - 2.5.6.3 Bézier 曲线 (43)
 - 2.5.6.4 B 样条曲线 (46)
 - 2.5.7 参数曲面法 (47)
 - 2.5.7.1 双三次 Coons 曲面 (47)
 - 2.5.7.2 Bézier 曲面 (48)
 - 2.5.7.3 B 样条曲面 (48)
 - 2.5.8 近似展开直纹面的三角形法 (49)
- 2.6 机、尾翼理论模线的设计 (50)
 - 2.6.1 工作内容 (50)
 - 2.6.2 基本几何参数的计算 (50)
 - 2.6.2.1 机、尾翼表面的形成规律 (50)
 - 2.6.2.2 弦长、百分母线和极点 (52)
 - 2.6.2.3 名义百分数和实际百分数的
换算 (55)
 - 2.6.2.4 正常切面的前缘圆弧半径 (56)
 - 2.6.2.5 翼型射影变换 (58)
 - 2.6.3 平面模线和百分模线 (61)
 - 2.6.3.1 平面模线 (61)

2.6.3.2 百分模线	(61)	2.8.4 机身、短舱切面外形斜角的 求法	(104)
2.6.4 综合切面模线	(62)	2.8.4.1 横切面外形斜角的求法	(104)
2.6.4.1 基准切面翼型曲线光滑度的检查与 修正	(62)	2.8.4.2 用球面三角法求横、纵切面的 外形斜角	(106)
2.6.4.2 切面重合基准的选择方法	(63)	2.8.4.3 用辅助切面法求纵切面外形 斜角	(112)
2.6.4.3 与基准切面平行的中间切面的 绘制	(63)	2.8.5 应用外形数学模型时外形斜角的 求法	(113)
2.6.4.4 特殊情况下中间切面的 绘制	(67)	2.8.6 斜角值表的说明	(114)
2.6.5 斜切面模线	(73)	2.9 CAD 技术在理论模线设计中的 应用	(114)
2.6.5.1 第一种斜切面	(73)	2.9.1 概述	(114)
2.6.5.2 第二种斜切面	(76)	2.9.2 曲面造型系统	(115)
2.6.5.3 第三种斜切面	(79)	2.9.2.1 系统构成	(115)
2.6.6 纵切面模线	(81)	2.9.2.2 系统功能	(115)
2.6.6.1 沿直母线的纵切面	(81)	2.9.3 飞机外形数学模型	(116)
2.6.6.2 不沿直母线的纵切面	(81)	2.9.3.1 外形数模的几种不同情况	(116)
2.6.7 扭转机翼模线	(83)	2.9.3.2 飞机外形数模的建立方法	(116)
2.6.7.1 扭转机翼外形的生成规律	(83)	2.9.4 飞机外形数据计算	(116)
2.6.7.2 梢部基准切面型值点的求法	(84)	2.9.4.1 曲面数据计算	(116)
2.6.7.3 扭转机翼中间平行切面的 绘制	(84)	2.9.4.2 曲线数据计算	(116)
2.7 机身、短舱理论模线的设计	(85)	2.9.4.3 轴线、交点数据计算	(116)
2.7.1 工作内容	(85)	2.9.4.4 外形斜角计算	(116)
2.7.2 纵横切面法	(86)	2.9.5 飞机公用几何数据库与数据 管理	(117)
2.7.2.1 三面视图模线的协调绘制	(86)	2.9.5.1 公用几何数据库	(117)
2.7.2.2 斜切面模线	(86)	2.9.5.2 数据管理	(118)
2.7.3 部件外形按射线法给出时理论模线的 设计	(91)	2.10 理论模线的标注和公差	(119)
2.7.3.1 射线切面模线和综合切面 模线	(92)	2.10.1 理论模线的标注	(119)
2.7.3.2 斜切面模线	(92)	2.10.1.1 视图说明	(119)
2.7.4 部件外形由圆弧或二次曲线形成时理论 模线的设计	(94)	2.10.1.2 线条标注	(120)
2.7.4.1 横切面外形由圆弧构成时理论模线的 设计	(94)	2.10.1.3 附注	(120)
2.7.4.2 用二次曲线给出部件外形时理论 模线的设计	(95)	2.10.1.4 温、湿度和检测线偏差值的 记录	(120)
2.8 外形斜角的求法	(96)	2.10.2 理论模线的公差	(120)
2.8.1 外形斜角的定义	(96)	第3章 结构模线设计	
2.8.2 斜角的应用	(96)	3.1 定义	(122)
2.8.3 机、尾翼切面的外形斜角求法	(98)	3.2 用途	(122)
2.8.3.1 正常横切面外形斜角的求法	(98)	3.3 设计要求	(122)
2.8.3.2 斜切面外形斜角的求法	(99)	3.4 绘制内容	(122)
2.8.3.3 纵切面外形斜角的求法	(102)	3.5 技术准备工作	(123)
		3.5.1 读图注意事项	(123)
		3.5.2 熟悉技术文件	(123)

3.5.3 编写模线设计说明书	(123)	3.7.4 绘制内容	(155)
3.5.4 绘制蒙皮、长桁分布图	(123)	3.7.5 设计方法	(155)
3.5.5 画坐标网线	(124)	3.7.5.1 理论外形和结构轴线	(155)
3.6 平面组合件结构模线设计	(124)	3.7.5.2 投影模线	(155)
3.6.1 坐标系	(124)	3.7.5.3 确定切面数量的原则	(155)
3.6.2 理论外形线	(124)	3.7.5.4 确定切面位置的原则	(155)
3.6.3 蒙皮真实厚度	(124)	3.7.5.5 切面布置	(156)
3.6.4 长桁轴线的绘制	(125)	3.7.6 舱门和门框的结构模线设计	(156)
3.6.4.1 正常剖面的长桁轴线	(125)	3.8 CAD技术在结构模线设计中的	
3.6.4.2 斜剖面的长桁轴线	(127)	应用	(159)
3.6.5 零件外形线	(127)	3.8.1 概述	(159)
3.6.5.1 定义	(127)	3.8.1.1 工作流程	(159)
3.6.5.2 零件外形线到弯曲始点的		3.8.1.2 基本条件	(159)
距离	(127)	3.8.1.3 结构模线CAD软件的分	(160)
3.6.5.3 外形线的画法	(128)	类	(160)
3.6.6 零件内形线	(129)	3.8.2 结构模线交互式CAD软件应有的	
3.6.6.1 定义	(129)	功能	(160)
3.6.6.2 零件内形线至外形线的距离	(129)	3.8.2.1 基本功能	(160)
3.6.7 零件内部结构线	(129)	3.8.2.2 增强性功能	(160)
3.6.7.1 下陷	(129)	3.8.3 结构模线CAD的剖面外形曲线	
3.6.7.2 止裂孔	(130)	数据	(161)
3.6.7.3 零件端面和边缘的工艺间隙	(131)	3.8.3.1 剖面外形曲线数据的分类和	
3.6.7.4 缺口	(132)	特点	(161)
3.6.7.5 零件圆角	(133)	3.8.3.2 剖面外形曲线型值点密度的	
3.6.8 零件弯边展开	(133)	控制	(161)
3.6.8.1 展开计算基本公式	(133)	3.8.4 应用交互式CAD软件设计结构	
3.6.8.2 m 值表	(136)	模线	(161)
3.6.8.3 零件展开线的画法	(141)	3.8.4.1 常用的交互式CAD软件	(161)
3.6.9 结构模线常见角度的计算	(145)	3.8.4.2 技术准备工作	(164)
3.6.9.1 垂直于正常横切面的机身纵向切面		3.8.4.3 交互式图形设计	(165)
与各种横切面的夹角	(145)	3.8.4.4 图形文件的管理	(165)
3.6.9.2 不垂直于正常横切面的机身纵向切面		3.8.4.5 工作流程	(165)
与各种横切面的夹角	(146)	3.8.5 交互式CAD软件的二次开发	(166)
3.6.9.3 机翼母线平面与各种肋平面的		3.8.5.1 数据前置处理——样条曲线数据输入	
夹角	(148)	与图形生成	(166)
3.6.10 工艺孔	(149)	3.8.5.2 数据前置处理——不等宽偏移曲线的	
3.6.10.1 工艺孔的名称、标记和用途	(149)	数据计算与图形生成	(170)
3.6.10.2 工艺孔的选择原则	(150)	3.8.5.3 图形数据后置处理	(172)
3.6.10.3 排铆钉孔的一般规定	(152)	3.8.5.4 绘图机走笔路径优化	(179)
3.6.11 零件弯边斜角的规定	(153)	3.9 结构模线的标注	(183)
3.7 立体组合件结构模线设计	(154)	3.9.1 标注的内容	(183)
3.7.1 结构特点	(154)	3.9.2 标注方法	(183)
3.7.2 几种工艺协调方法	(154)	3.9.3 标记要求	(184)
3.7.3 设计要求	(154)	3.10 结构模线的公差	(184)
		3.11 结构模线校对的内容	(185)

3.12 无尺寸图设计	(185)	4.1.6.1 样板的外形公差	(227)
3.12.1 概述	(185)	4.1.6.2 样板的画线公差	(229)
3.12.2 术语	(186)	4.1.6.3 样板的钻孔公差	(229)
3.12.3 无尺寸图设计总则	(186)	4.1.6.4 采用数控机床制造样板的 公差	(229)
3.12.3.1 无尺寸图的适用范围	(186)	4.2 各类零件选择样板的一般原则	(230)
3.12.3.2 一般规定	(186)	4.2.1 选择样板的依据	(230)
3.12.4 无尺寸图设计要求	(186)	4.2.2 各类零件的典型成形工艺	(230)
3.12.4.1 坐标网线	(186)	4.2.3 各类零件选择样板示例	(231)
3.12.4.2 设计内容	(187)	4.3 样板设计	(234)
3.12.4.3 图线和标记	(187)	4.3.1 样板设计的依据	(234)
3.12.4.4 图幅布置	(187)	4.3.2 样板设计要求	(234)
3.12.4.5 标注尺寸的规定	(187)	4.3.3 样板图的设计	(235)
3.12.4.6 标记符号的规定	(188)	4.3.3.1 绘制样板图的要求	(235)
3.12.4.7 工艺孔的有关规定	(190)	4.3.3.2 工艺说明的编写	(235)
3.12.5 尺寸度量及绘制公差	(190)	4.3.4 外形样板的设计	(236)
3.12.6 聚酯片基及无尺寸图原图的 使用规定	(191)	4.3.4.1 外形样板的几种特殊形式	(236)
3.13 考虑回弹角的钣金零件模线 设计	(191)	4.3.4.2 外形样板设计的一般规定和 要求	(237)
3.13.1 钣金成形零件的回弹角	(191)	4.3.4.3 几种典型零件外形样板的 设计	(240)
3.13.2 影响回弹角的因素	(192)	4.3.4.4 平面零件外形样板的设计 举例	(243)
3.13.3 成形模线(FBL)	(192)	4.3.4.5 钳焊零件外形样板的设计 举例	(248)
3.13.4 “ $D-\Phi$ ”值表	(192)	4.3.4.6 标准挤压型材外形样板的设计 举例	(248)
第4章 样板设计与制造		4.3.4.7 钣金套合件外形样板的工艺 间隙	(250)
4.1 样板的分类、用途、工艺孔、标记和 制造公差	(206)	4.3.5 内形样板的设计	(251)
4.1.1 样板定义	(206)	4.3.6 展开样板的设计	(255)
4.1.2 样板的分类、名称和基本用途	(206)	4.3.6.1 确定展开样板的方法	(255)
4.1.3 各种生产样板的基本特征	(207)	4.3.6.2 展开样板设计的一般规定和 要求	(255)
4.1.3.1 外形样板	(207)	4.3.7 切面样板的设计	(256)
4.1.3.2 内形样板	(207)	4.3.7.1 切面、反切面样板的确定	(256)
4.1.3.3 展开样板	(207)	4.3.7.2 切面样板设计的一般规定和 要求	(257)
4.1.3.4 切面样板	(207)	4.3.7.3 蒙皮类零件切面样板的设计	(259)
4.1.3.5 钻孔样板	(207)	4.3.7.4 平面零件和钳焊零件局部切面样板的 设计	(268)
4.1.3.6 机加样板	(207)	4.3.7.5 标准挤压型材的切面样板 设计	(270)
4.1.3.7 夹具、样件样板	(207)	4.3.7.6 软油箱样板设计	(271)
4.1.3.8 专用样板(包括化铈样板)	(208)		
4.1.4 样板上的工艺孔	(208)		
4.1.4.1 工艺孔的名称、标记和用途	(208)		
4.1.4.2 工艺孔的孔径和应用范围	(208)		
4.1.5 样板标记	(208)		
4.1.5.1 样板的基本标记	(209)		
4.1.5.2 样板的专用标记	(209)		
4.1.6 样板制造公差	(227)		

4.3.8 机加样板的设计	(272)	4.4.5.1 样板画标记线的技术要求	(300)
4.3.8.1 机加样板设计的一般规定和 要求	(272)	4.4.5.2 样板画线	(300)
4.3.8.2 机加样板设计举例	(272)	4.4.5.3 样板打标记的技术要求	(301)
4.3.8.3 套合件机加样板的工艺余量 ..	(275)	4.4.6 样板的协调	(302)
4.3.9 化铣样板的设计	(275)	4.4.6.1 样板协调的概念	(302)
4.3.9.1 化铣样板设计的一般技术 要求	(275)	4.4.6.2 样板协调的要求	(303)
4.3.9.2 化铣(展开)样板的设计	(277)	4.4.7 相板和样板的喷漆	(304)
4.3.9.3 化铣(成形)样板的设计	(277)	4.4.7.1 相板和样板喷漆的作用	(304)
4.3.9.4 化铣样板正面的确定	(278)	4.4.7.2 相板和样板喷漆的颜色	(304)
4.3.10 钻孔样板的设计	(278)	4.4.7.3 相板和样板的喷漆工艺	(304)
4.3.11 专用样板的设计	(279)	4.5 国外某飞机公司所用样板简介	(306)
4.3.12 夹具(样件)样板的设计	(280)	4.5.1 常用样板的名称和用途	(306)
4.3.12.1 一般规定和要求	(280)	4.5.2 样板工艺孔	(308)
4.3.12.2 确定夹具样板位置的原则	(281)	4.5.2.1 工艺孔的名称、标记和用途	(308)
4.3.12.3 夹具样板基准的确定	(281)	4.5.2.2 有关工艺孔的规定	(309)
4.3.12.4 夹具样板的加工基准和对合 形式	(281)	4.5.3 样板标记	(311)
4.3.12.5 夹具样板图审查的内容	(283)	4.5.3.1 样板标记中常用的英语缩 写词	(311)
4.3.12.6 夹具样板设计图例	(283)	4.5.3.2 表示零件几何形状的标记	(312)
4.4 样板制造	(285)	4.5.3.3 样板标记的有关规定	(315)
4.4.1 样板制造的基本方法及工艺 过程	(285)	4.5.4 常用样板的基本特征和结构 形式	(316)
4.4.1.1 晒相移形法与非晒相移形法 ..	(285)	4.5.4.1 LT——展开(外)样板	(316)
4.4.1.2 按数据制造样板的工艺流程 ..	(285)	4.5.4.2 LTU——展开(外)相板	(317)
4.4.2 样板下料	(286)	4.5.4.3 RLT——铣切用展开(外) 样板	(317)
4.4.2.1 样板的平面度	(286)	4.5.4.4 DLT——试压展开(外)样板 ..	(317)
4.4.2.2 样板的焊接	(286)	4.5.4.5 IPLT——仪表板展开(外) 样板	(318)
4.4.2.3 样板的移形	(286)	4.5.4.6 PLT——局部展开(外)样板 ..	(319)
4.4.2.4 样板的补加	(286)	4.5.4.7 FBT——成形模样板	(319)
4.4.2.5 样板的加强	(287)	4.5.4.8 AT——应用样板	(319)
4.4.2.6 切面样板的外廓尺寸	(289)	4.5.4.9 CT——外廓样板	(324)
4.4.3 样板外形的加工	(290)	4.5.4.10 PBT——冲孔下料样板	(324)
4.4.3.1 样板外形加工的一般规定	(290)	4.5.4.11 PT——仿形样板	(325)
4.4.3.2 样板外形加工的一般技术 要求	(292)	4.5.4.12 CMT——化铣样板	(326)
4.4.3.3 样板外形加工的几种方法	(293)	4.5.4.13 SFDT——拉伸成形模样板 ..	(327)
4.4.4 样板钻孔	(298)	4.5.4.14 SST——毛料样板	(328)
4.4.4.1 钻制工艺孔的技术要求	(298)	4.5.4.15 RST——粗锯下料样板	(328)
4.4.4.2 样板扩孔直径	(299)	4.5.5 有关样板设计、制造的若干 问题	(329)
4.4.4.3 按尺寸排导孔	(299)	4.5.5.1 样板上外形交线、弯曲线、弯曲 中心线的使用	(329)
4.4.4.4 其他孔的制作	(300)	4.5.5.2 成形后切切余量(TAF)	(330)
4.4.5 样板画标记线和打标记	(300)		

4.5.5.3 装配中修切余量(TOA)	(330)	5.3.2.9 水洗脱膜	(342)
4.5.5.4 制动弯边(Locking Flanges) ...	(330)	5.3.2.10 干燥	(343)
4.5.5.5 缩比样板	(331)	5.3.2.11 修相	(343)
第5章 模线晒相		5.3.2.12 检验交付	(343)
5.1 模线晒相的分类与应用	(332)	5.3.3 故障分析与处理方法	(343)
5.1.1 定义	(332)	5.3.4 染色法工艺	(343)
5.1.2 分类	(332)	5.3.4.1 工艺过程	(343)
5.1.3 应用	(332)	5.3.4.2 感光液配制	(344)
5.1.3.1 模线晒相技术的应用	(332)	5.3.4.3 涂布	(344)
5.1.3.2 各种晒相方法的应用	(332)	5.3.4.4 干燥	(344)
5.2 重氮晒相法	(333)	5.3.4.5 曝光	(344)
5.2.1 基本原理	(333)	5.3.4.6 显影	(345)
5.2.2 湿法工艺	(333)	5.3.4.7 染色	(345)
5.2.2.1 工艺过程	(334)	5.3.4.8 固色	(345)
5.2.2.2 感光液配制	(334)	5.3.4.9 干燥	(345)
5.2.2.3 板面除油	(335)	5.3.4.10 检验交村	(345)
5.2.2.4 涂布	(335)	5.3.5 故障分析与处理方法	(346)
5.2.2.5 干燥	(335)	5.4 重氮树脂晒相法	(346)
5.2.2.6 曝光	(335)	5.4.1 阳晒阳基本原理	(346)
5.2.2.7 显影	(336)	5.4.1.1 基本原理	(346)
5.2.2.8 水洗	(336)	5.4.1.2 成相原理	(347)
5.2.2.9 干燥	(336)	5.4.1.3 成相原理的化学反应式	(347)
5.2.2.10 修相	(336)	5.4.2 阳晒阳工艺	(348)
5.2.2.11 检验交付	(336)	5.4.2.1 工艺过程	(348)
5.2.3 干法工艺	(337)	5.4.2.2 感光液配制	(349)
5.2.3.1 工艺过程	(337)	5.4.2.3 涂布	(349)
5.2.3.2 感光液配制	(337)	5.4.2.4 干燥	(349)
5.2.3.3 涂布与干燥	(337)	5.4.2.5 曝光	(349)
5.2.3.4 曝光	(338)	5.4.2.6 显影	(349)
5.2.3.5 显影	(338)	5.4.2.7 定影	(350)
5.2.3.6 修相	(338)	5.4.2.8 干燥	(350)
5.2.3.7 检验交付	(338)	5.4.2.9 修相	(350)
5.2.4 故障分析与处理方法	(338)	5.4.2.10 检验交付	(350)
5.3 铬胶晒相法	(339)	5.4.3 故障分析与处理方法	(351)
5.3.1 基本原理	(339)	5.4.4 阴晒阳基本原理	(351)
5.3.2 着色法工艺	(340)	5.4.5 阴晒阳工艺	(353)
5.3.2.1 工艺过程	(340)	5.4.5.1 工艺过程	(353)
5.3.2.2 感光液配制	(341)	5.4.5.2 感光液配制	(353)
5.3.2.3 除油	(342)	5.4.5.3 涂布	(353)
5.3.2.4 涂布	(342)	5.4.5.4 干燥	(353)
5.3.2.5 干燥	(342)	5.4.5.5 曝光	(353)
5.3.2.6 曝光	(342)	5.4.5.6 显影	(354)
5.3.2.7 显影	(342)	5.4.5.7 定影	(354)
5.3.2.8 着色	(342)	5.4.5.8 干燥	(354)

5.4.5.9 修相	(354)	工量具和设备	(357)
5.4.5.10 检验交付	(354)	附录 B 模线晒相用材料和设备	(364)
5.4.6 故障分析与处理方法	(355)	附录 C 模线设计和晒相的	
5.5 几种晒相方法的分析与对比	(355)	环境要求	(370)
附录 A 模线设计、样板制造用材料、		参考文献	(371)

第1章 概述

1.1 模线样板技术产生的背景

飞机必须具有光滑流线的、合乎气动力学要求的几何形状。其大量零件具有与气动力外形有关曲线或曲面的外形,且要求互相协调。同时飞机零件大部分用钣金制造,尺寸较大,刚度差,不使用通用量具来度量其外形尺寸。因此在飞机制造中必须采用一种与一般机器制造业不同的技术——模线样板技术,以保证制造出的各种工艺装备和零件互相协调,顺利进行装配,制造出符合设计要求的飞机。

模线技术起源于造船工业,四十年代已传入飞机制造业中。随着飞机性能的提高,结构日益复杂,对气动力外形的精度要求也愈来愈高。同时由于新工艺、新技术、新设备的出现,模线技术也不断发展,现今飞机制造业中模线技术不论在规模上和技术程度上都远远超过了前者。

1.2 模线样板技术的基本内容

模线样板技术包括模线和样板两部分内容。模线是由模线设计员根据设计所发出的图纸绘制的图样;样板则是按照模线或数据加工成的专用量具。模线通常又分成理论模线和结构模线两大类。理论模线按飞机理论图绘制。它表示飞机部件的理论外形(气动力外形)和各种轴线(坐标基准线和各种结构轴线),主要供绘制结构模线时确定理论外形和各种轴线用,也供加工样板用。它是飞机外形的原始依据。结构模线根据设计所发出的结构图绘制,主要供加工各种样板用。结构模线的绘制过程也是对飞机结构协调的验证过程。

1.3 模线样板在飞机制造中的作用

模线样板是飞机从设计到制造之间的桥梁,是飞机几何尺寸的原始依据,是飞机制造过程中保证各类零、组、部件尺寸协调的主要手段。模线样板的质量直接影响到飞机制造的质量和新机试制工作的顺利进行。同时由于模线样板生产是飞机制造的第一步,飞机的大部分零件和工艺装备都需要按模线样板制造,模线样板的生产进度直接影响到新飞机的试制进度,所以,提高模线样板质量和生产效率有很重要的意义。

1.4 采用模线样板技术的飞机制造协调路线

采用模线样板技术的飞机制造协调路线大致如图 1.1 所示。

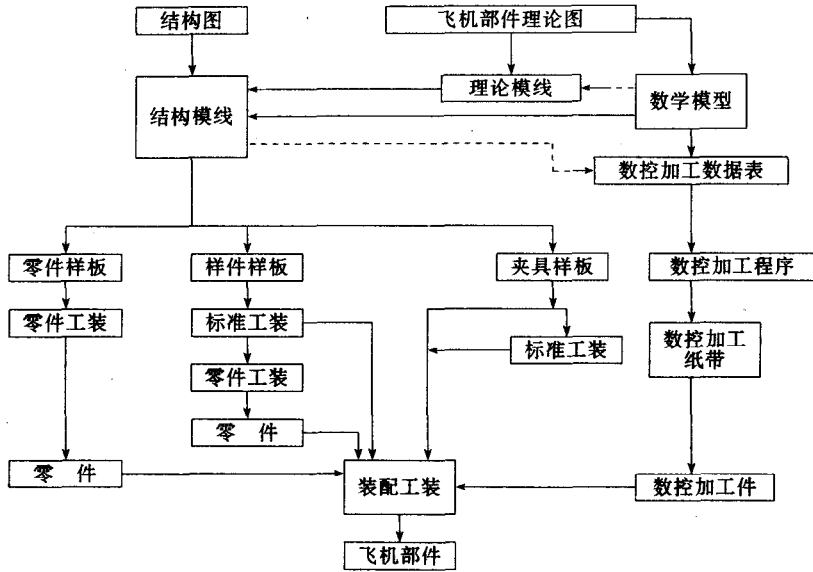


图1.1 飞机制造协调路线图表

1.5 我国模线样板技术的发展

我国的模线样板技术是随航空工业的建立而发展起来的,至今已有约40年的历史,其间大致经历了四个发展阶段:

第一阶段 1952—1958年,各厂刚建模线样板车间,开始用手工计算和几何作图绘制模线,采用喷漆的钢板为图板,用钢针画线,手工移形。

第二阶段 1959—1963年,开始应用二次曲线等解析计算法来计算飞机理论外形;应用画线钻孔台来钻制图板和样板上的基准孔、画基准线,提高了理论模线的绘制精度和外形检验样板、样件样板、夹具样板等的制造及定位精度。

第三阶段 1964—1970年,开始应用聚酯薄膜绘制模线,并应用接触晒相法复制模线和移形,提高了模线和样板的移形精度及样板的生产效率。

第四阶段 从70年代初开始,随着计算机技术发展起来的CAD/CAM技术的引入,对传统的模线样板技术产生了、并将继续产生重大影响。

几年来,我国各飞机制造厂都引进或自行开发了几何图形软件,并在不同范围内、不同程度上实现了自动化数控绘制模线,较大的提高了模线的绘制精度和效率。使模线设计员基本上摆脱了传统的手工作业方式。

数控绘图机保证了模线绘制的重复精度,使模线可以对称或重复绘制,减少了用于移形的标准样板,扩大了样板制造的平行工作面,提高了样板的制造效率。

CAD技术的发展,使得产品设计和模线设计正在逐步靠拢。在新机研制中,已广泛采用统一的飞机外形数学模型。模线CAD数据库已愈来愈多的为数控加工和数控测量提供各类数据。模线设计已可直接调用产品设计的图形信息。国际上广为流行的“无尺寸图”技术(即图纸—模线合一)正逐步为人们所重视,在我国设计“无尺寸图”的技术和条件已逐步成熟。随着CAD技术的进步,模线样板技术正迎来一个新的发展阶段。

第2章 理论模线设计

2.1 定义

按照飞机理论图纸和飞机工艺要求进行设计、以飞机部件、组件的理论外形和结构轴线为主要绘制内容、以1:1的比例精确地画在金属平板或聚酯薄膜上的图样,称为飞机理论模线。

2.2 用途

未应用飞机外形数学模型和数控绘图技术时,理论模线是保证飞机外形和结构轴线正确与协调的唯一原始依据,是绘制结构模线和制造样板的主要依据之一。

应用计算机建立飞机外形数学模型并采用数控绘图技术以后,理论模线的用途是:

- 1 作为外形数学模型的直观精确图象,并验证外形数学模型的正确性(包括光滑流线性)。
- 2 作为数值量到模拟量之间的桥梁和CAD/CAM技术的辅助手段。用于校核结构模线的剖面外形、结构轴线和斜角值;校核从外形数模算出的各种数据;作为某些样板的制造或检验依据;或量取某些外形或结构轴线的的数据。

随着CAD/CAM技术及其应用深度、广度的提高,理论模线的作用和重要性将进一步减弱。

2.3 技术准备工作

2.3.1 审查和熟悉图纸资料

理论模线设计的依据有:飞机理论图(或飞机外形测绘数据表)、飞机结构图、研制工艺方案、部件互换协调图表、主要的表面标准样件样板图和夹具样板图、以及有关模线样板和CAD/CAM技术应用的技术文件等。

在理论模线设计工作之前,必须认真阅读和审查上述图纸资料,对飞机理论图的阅读和审查尤为重要。

对飞机理论图应进行以下方面的审查:

- 1 部件外形定义符合飞机设计要求和工艺要求;
- 2 部件外形定义的几何可能性和唯一性,无冗余和矛盾尺寸;
- 3 所定义曲面能完整地复盖部件表面,无缺漏或重叠;
- 4 各部分外形的协调性,如曲面间的光滑拼接,运动部分之间的合理间隙,相关部件之间的协调等;

5 外形定义方法便于建立外形数学模型和采用数控绘图,例如:

(1) 曲面划分合理。相互拼接的几块小曲面最好合并,但复杂曲面应分解为几块较简单的曲面;

(2) 各曲面尽可能采用统一的数学形式给出;

(3) 避免或减少局部造型,如鼓包或凹陷;

(4) 尽量用曲线、曲面代替直线、平面,避免折点和棱线;

(5) 离散点曲线的型值点应分布均匀;

6 外形沿横向和纵向光滑流线,包括:

(1) 线条具有符合设计要求的凹凸性或直线性,没有多余的拐点;

(2) 离散点曲线的曲率变化均匀,线条流线光滑;

(3) 离散点曲线尽量改为二次曲线;

(4) 相互对接的二次曲线段在对接点上满足共轭条件。

2.3.2 编写设计说明书

2.3.2.1 作用

理论模线设计说明书是绘制理论模线的工作方案,它根据飞机外形和结构设计要求、工艺要求(结构模线设计、样板制造、工装设计和制造等要求)及模线设计的实际条件,制订合理的设计方法、规定绘制内容和图面布置等。

2.3.2.2 内容

包括以下各项:

1 理论模线设计的依据;

2 基本设计方法(如纵横切面法、二次曲线法、外形数学模型法等,以及计算机环境、软件或程序名称等);

3 理论模线的绘制内容;

4 模线图板的图面布置(共几页图板,相搭接图板的搭接位置和尺寸,各页图板画哪些视图,每个视图的基准线和原点位置等);

5 其他说明(蒙皮外形与理论外形的关系,蒙皮外形的过渡范围,理论模线与实际飞机外形不符的部位和处理方法,仅供参考的切面或线条,斜角的性质、方向和使用位置等)。

2.4 一般规定

2.4.1 坐标系、基准线和坐标网线

2.4.1.1 坐标系

应按部件或分部件分别建立空间直角右手坐标系,选择坐标平面时,尽量使其与飞机设计的基准平面或主要结构平面一致。

机身、机翼理论模线常用的坐标系见图 2.1 和图 2.2。

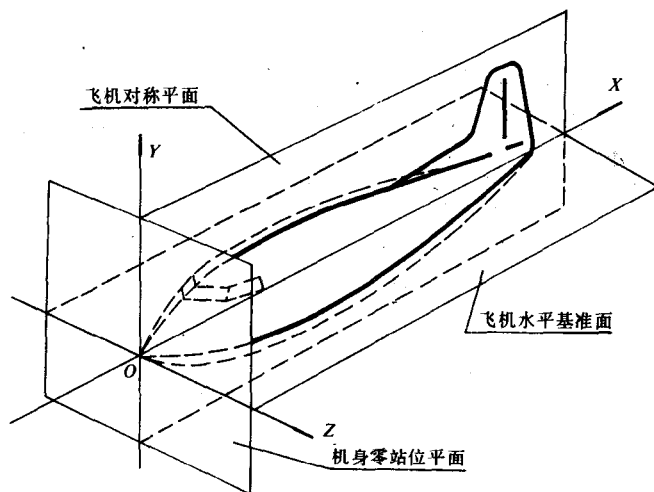


图 2.1 机身理论模线坐标系

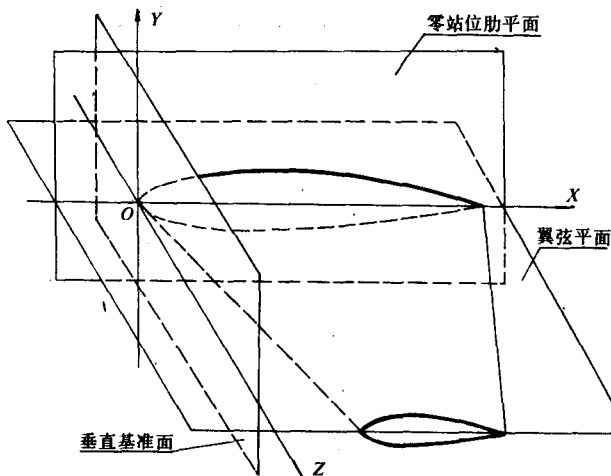


图 2.2 机翼理论模线坐标系

2.4.1.2 基准线

基准线包括坐标轴线和距坐标轴线一定距离的直线,如距飞机对称轴线 1000mm,距水平基准线 600mm 等。

选择基准线时要注意便于模线相互协调、线条不致过密、图面布置均匀合理。

2.4.1.3 坐标网线

坐标网线是距基准线规定间距(例如 250mm)的一组互相垂直的直线,其间距公差为 $\pm 0.1\text{mm}$,垂直度按方格对角线长度 353.55mm 检查,公差亦为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

坐标网线做为度量基准使用,在模线上量取跨越网格的长度时,只量超出网格的部分,中间按网格的名义尺寸累加。

未采用数控绘图时,金属图板上的基准线和坐标网线在画线钻孔台上画出;采用数控绘图