

Boeing  
Phantom Works

# 波音鬼怪工厂

蒲小勃 许泽 主编



“谁都不应该用‘做不到’这一说法来排斥新颖的创意。我们的工作就是持续不断地研究和试验，我们不能错过飞行和飞行设备新的进展。所以波音不会等待外在环境要求时才去创造。”

——詹姆斯·迈克纳尼

航空工业出版社

# 波音鬼怪工厂

蒲小勃 许 泽 主编



航空工业出版社  
北京

## 内 容 提 要

该书是一部全面介绍波音公司创新研发设计机构——鬼怪工厂的专著。书中回顾了鬼怪工厂的发展历程，简要介绍了鬼怪工厂的组织机构、业务范围以及历任管理者，分析研究了鬼怪工厂研发飞行器的设计特点、性能参数及其发展前景，探讨了鬼怪工厂的管理与创新实践以及在飞行器研发、预先研究中所采用的试验技术与方法。

该书是国内第一本详细描述波音公司鬼怪工厂的图书，可供航空航天领域管理人员、科技人员以及从事快速研发与创新的组织学习与参考。

### 图书在版编目 ( C I P ) 数据

波音鬼怪工厂 / 蒲小勃, 许泽主编. -- 北京: 航空工业出版社, 2013. 5

ISBN 978 - 7 - 5165 - 0152 - 8

I. ①波… II. ①蒲… ②许… III. ①波音飞机公司—工业企业管理—经验 IV. ①F471. 265

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 072999 号

波音鬼怪工厂

Boyin Guiguai Gongchang

---

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010 - 64815615 010 - 64978486

中国电影出版社印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2013 年 5 月第 1 版

2013 年 5 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 15

字数: 238 千字

印数: 1—3500

定价: 58.00 元

# 《波音鬼怪工厂》

## 编 委 会

主 任 宋文骢

委 员 (按姓氏笔画排序)

王海峰 吕 剑 向立学 许 泽 李 松  
李文正 季晓光 周 为 聂海涛 徐 平  
唐 娅 桑建华 黄 炜 蒲小勃 戴亚隆

## 编 写 组

主 编 蒲小勃 许 泽

编写人员 冷洪霞 吕 剑 谢志航 沈玉芳 李悦霖  
谭 勇 瞿 薇 谢文婷 杨晶晶 李 伟  
范 怡 于 凯 薛槐敏

# 目 录

<b>第 1 章 鬼怪工厂简介</b> .....	1
1.1 鬼怪工厂的发展历程 .....	2
1.1.1 鬼怪工厂的前身 .....	2
1.1.2 鬼怪工厂的成立 .....	3
1.1.3 “鬼怪”得名由来 .....	8
1.1.4 前期发展 .....	12
1.1.5 “鬼怪”易主 .....	13
1.1.6 鬼怪工厂的几次调整 .....	17
1.2 鬼怪工厂的组织机构 .....	20
1.2.1 鬼怪工厂的机构设置 .....	21
1.2.2 鬼怪工厂的人员管理 .....	23
1.3 鬼怪工厂的业务 .....	26
1.3.1 合并前的业务局面 .....	26
1.3.2 合并后的业务版块 .....	27
1.3.3 鬼怪工厂的业务概况 .....	29
<b>第 2 章 鬼怪工厂的主要成就</b> .....	39
2.1 “鬼怪” II F-4 战斗机 .....	39
2.1.1 研制背景 .....	40
2.1.2 技术性能 .....	41
2.2 “捕食鸟” (Bird of Prey) 隐身技术验证机 .....	44
2.2.1 研制历程 .....	45
2.2.2 设计特点与结构性能参数 .....	46

2.2.3 重要意义 .....	48
2.3 X-36 无尾技术验证机 .....	49
2.3.1 研制历程 .....	49
2.3.2 结构、系统与设备 .....	51
2.3.3 重要意义 .....	53
2.4 X-48B 翼身融合体无人验证机 .....	53
2.4.1 研制历程 .....	54
2.4.2 设计特点与结构性能参数 .....	57
2.4.3 未来发展 .....	61
2.5 “鬼怪鳐”无人验证机 .....	62
2.5.1 研制历程 .....	63
2.5.2 设计特点及结构性能参数 .....	68
2.5.3 未来发展 .....	70
2.6 X-37B 轨道试验飞行器 .....	73
2.6.1 研制历程 .....	73
2.6.2 设计特点及结构性能参数 .....	77
2.6.3 重要意义 .....	82
2.6.4 未来发展 .....	83
2.7 X-51A 吸气式高超声速飞行器 .....	84
2.7.1 研制历程 .....	85
2.7.2 设计特点及结构性能参数 .....	88
2.7.3 未来发展 .....	93
2.8 第六代战斗机海军方案 F/A-XX .....	94
2.8.1 方案的提出 .....	94
2.8.2 技术性能设想 .....	96
2.8.3 发展前景 .....	100
<b>第 3 章 鬼怪工厂的管理与创新</b> .....	<b>103</b>
3.1 鬼怪工厂的任务宗旨与发展战略 .....	103

3.1.1	鬼怪工厂的宗旨 .....	103
3.1.2	鬼怪工厂的发展战略 .....	105
3.1.3	鬼怪工厂在研发工作中的任务 .....	107
3.2	鬼怪工厂的团队管理 .....	108
3.3	鬼怪工厂与臭鼬工厂的管理 .....	111
3.3.1	臭鼬工厂的主要管理方法 .....	111
3.3.2	鬼怪工厂的主要管理方法 .....	113
3.4	鬼怪工厂的创新管理 .....	118
3.4.1	鬼怪工厂的创新方法 .....	119
3.4.2	广泛开展创新合作 .....	120
3.4.3	重视创新文化的培养 .....	121
3.4.4	系统工程在创新研发工作中的应用 .....	121
3.5	鬼怪工厂的创新技术应用实例 .....	128
3.5.1	数字化设计与制造技术在 X-32 研制中的应用 .....	128
3.5.2	拉挤棒缝合高效组合结构 (PRSEUS) .....	131
3.5.3	先进轻型飞机机身结构 (ALAFS) .....	133
3.5.4	数学分析与信息处理软件 .....	135
3.6	以创新拥抱明天 .....	137
<b>第 4 章</b>	<b>鬼怪工厂的试验技术与方法 .....</b>	<b>139</b>
4.1	X-36 的试验验证技术 .....	139
4.1.1	系统综合试验技术 .....	139
4.1.2	飞行控制律试验验证技术 .....	146
4.2	X-37 的主要试验技术 .....	150
4.2.1	X-37 的研制及相关试验 .....	150
4.2.2	X-37 的飞行试验技术 .....	153
4.3	X-48B 的飞行试验技术 .....	156
4.3.1	X-48B 的飞行试验计划 .....	156
4.3.2	X-48B 的飞行试验系统 .....	157

4.4	X-51A 试验技术与方法 .....	163
4.4.1	试验目的与措施 .....	164
4.4.2	X-51A 试飞前的地面试验 .....	164
4.4.3	X-51A 的飞行试验 .....	171
4.5	预研项目试验技术 .....	176
4.5.1	试验目的和方法 .....	176
4.5.2	试验装置 .....	177
4.5.3	试验条件 .....	179
4.5.4	试验工具与方法 .....	181
<b>第5章</b>	<b>鬼怪工厂的管理者</b> .....	<b>186</b>
5.1	杰瑞·恩尼斯：麦道公司鬼怪工厂的首任总裁 .....	187
5.1.1	明确目标和宗旨 .....	187
5.1.2	潜心精益制造 .....	189
5.1.3	重视人才和成本 .....	192
5.2	詹姆斯·辛尼特：麦道公司鬼怪工厂的第二任总裁 .....	193
5.2.1	詹姆斯·辛尼特履历 .....	194
5.2.2	验证先进技术 .....	194
5.2.3	获奖 .....	196
5.3	戴维·斯温：波音公司鬼怪工厂第一任总裁 .....	197
5.3.1	戴维·斯温简历 .....	197
5.3.2	负责“捕食鸟”计划 .....	199
5.3.3	获奖和荣誉 .....	200
5.3.4	斯温的思想 .....	202
5.4	乔治·穆勒：波音公司鬼怪工厂的第二任总裁 .....	203
5.4.1	乔治·穆勒履历 .....	204
5.4.2	坚持空间战略 .....	206
5.4.3	乔治·穆勒的成就 .....	207
5.5	罗伯特·克里格：波音公司鬼怪工厂的第三任总裁 .....	208



5.5.1 罗伯特·克里格履历 .....	209
5.5.2 支持创新 .....	210
5.5.3 推进转型 .....	212
5.5.4 引领高科技项目 .....	213
5.6 马修·甘茨：波音公司鬼怪工厂的第四任总裁 .....	215
5.6.1 马修·甘茨履历 .....	215
5.6.2 甘茨的思想 .....	216
5.6.3 合作 .....	218
5.7 达瑞尔·戴维斯：波音公司鬼怪工厂的现任总裁 .....	220
5.7.1 达瑞尔·戴维斯履历 .....	220
5.7.2 开拓新领域 .....	222
5.8 创新需要“鬼怪”式人才 .....	225
参考文献 .....	227

# 第 1 章

## 鬼怪工厂简介



在历史的舞台上，每一个时代，都有极少数命运的宠儿，天生风流，夺人眼球；但是，在芸芸大众间，也有那么些人，在时代的浪潮中沉浮，历经磨难方显真我本色。在美国的航空航天业界，洛克希德·马丁公司 (Lockheed Martin Corporation) 的臭鼬工厂 (Skunk Works) 是创新研究与研发机构的开创者和集大成者，其创新理念和运作模式在全世界得到了肯定和推广，成为企业自主创新机构的代名词，走在时代的浪尖上，是前一种类型；而在强大的波音 (Boeing) 帝国众多的军民用产品背后那个神秘的技术推手——鬼怪工厂 (Phantom Works) ——却几经坎坷，虽屡败，亦屡战不馁，求铸利剑，享誉国际，显然属于后一类。

20 世纪 60 ~ 70 年代，鬼怪工厂的产品 F-4 “鬼怪” II 战斗机曾引起巨大的轰动，成为美国航空史乃至世界航空史上的一个神话。从那之后，虽然 F-4 持续发展，产生了多种型号，鬼怪工厂却开始沉寂，默默耕耘于“黑世界”，不为人知。直到 2002 年 10 月波音公司公开展示了鬼怪工厂秘密设计、研制、试飞的“捕食鸟” (Bird of Prey) 验证机，人们才再次注意到鬼怪工厂的存在。鬼怪工厂在以前的麦克唐纳·道格拉斯飞机公司 (McDonnell Douglas Aircraft Corporation, 简称麦道公司, 1997 年被波音公司兼并) 以及现在的波音公司的技术发展中都起着举足轻重的作用。

直到如今，鬼怪工厂依然是正如其名，如幽灵般“犹抱琵琶半遮面”，没有公开而系统的介绍，保持着一种低调而神秘的气质。



## 1.1 鬼怪工厂的发展历程

鬼怪工厂（又译“鬼怪工程部”）目前是波音公司主要的研发部门。在麦道公司被波音公司兼并之前，它是麦道公司的研究发展部，其历史可以追溯到 20 世纪 50 年代。

### 1.1.1 鬼怪工厂的前身

1928 年，詹姆斯·史密斯·麦克唐纳（James Smith McDonnell，见图 1-1）在威斯康星州米尔瓦基（Milwaukee）建立了麦克唐纳与合作者公司（J. S. McDonnell & Associates），计划制造供家庭使用的私人飞机。1929 年的经济危机使麦克唐纳的公司倒闭，他转投马丁飞机公司工作。1938 年，麦克唐纳离开马丁公司，在密苏里州的圣路易斯（St. Louis）附近再次建立了自己的公司——麦克唐纳飞机公司（McDonnell Aircraft Corp.），而这里正是孕育鬼怪工厂的摇篮。

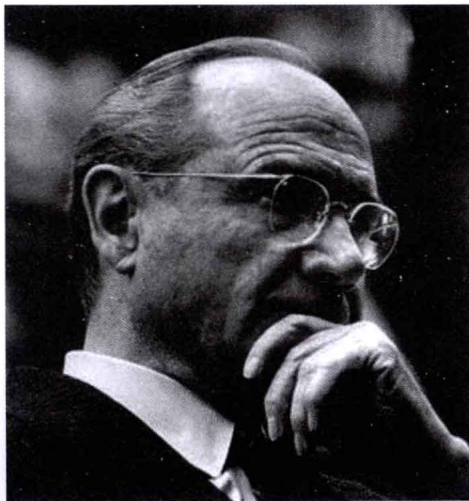


图 1-1 詹姆斯·史密斯·麦克唐纳（1899—1980）

麦克唐纳飞机公司初建时，业务仅限于轰炸机的设计，规模有限。第二次世界大战后，由于军方飞机过多，美国政府订购停止，使麦克唐纳公司的发展受挫。但朝鲜战争的爆发，为麦克唐纳飞机公司提供了重生的机会，使



其成为当时美国重要的军用飞机供应商。20世纪50年代初，麦克唐纳飞机公司作为主承包商负责研发美国海军的F-4战斗机项目。为了高效地组织该项目的研制与生产，该公司在圣路易斯战斗机工厂内设立了一个专门从事新产品研制的机构，这就是“鬼怪工厂”最早的雏形。

F-4“鬼怪”战斗机的成功令麦克唐纳飞机公司获利颇丰，研究领域逐步扩展到直升机、运输机、导弹和空间技术等。麦克唐纳飞机公司也研发火箭，还试验超声速飞行，这些研究为它后来赢得了美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration, NASA）的“水星”（Mercury）计划和“双子座”（Gemini）计划合同。

1967年，麦克唐纳飞机公司收购了道格拉斯飞机公司（Douglas Aircraft Corp.），成立麦克唐纳·道格拉斯飞机公司。图1-2为麦道公司的标志。合并后，公司实力大增，业务急剧扩大，主要生产了MD80和MD11民用喷气式飞机，以及F-15“鹰”（Eagle）式战斗机和F/A-18“大黄蜂”（Hornet）战斗攻击机。公司除了生产军用和民用飞机、火箭及导弹外，还从事宇宙飞船电子系统、计算机、数据处理、微波真空、太阳能、风力发电等多种设备和系统的研发与经营。



图 1-2 麦道公司的标志

麦道公司在国防和空间领域的实力使它赢得了政府这个重要客户。原麦克唐纳飞机公司为F-4研制生产而组建的研究团队，逐渐发展为麦道公司的“研究发展部”，成为麦道公司的研发核心，为政府承担了一系列“黑色项目”（即涉密项目）的研制，然而由于研究领域过窄，自身发展缓慢。

### 1.1.2 鬼怪工厂的成立

20世纪90年代初，在美国另一军火供应商洛克希德·马丁公司内，其



创新研发设计部门“臭鼬工厂”正发展得如火如荼，可谓到达了鼎盛时期，SR-71 侦察机（见图 1-3）、大名鼎鼎的 F-117A（见图 1-4）以及 YF-22 验证机均为臭鼬工厂的得意之作。相反，麦道公司却在先进战术战斗机（Advanced Tactical Fighter, ATF）、A-12 和联合攻击战斗机（Joint Strike Fighter, JSF）项目中接连受挫，尤其是在 ATF 之争中，麦道公司的方案排名居然在以民用飞机研制生产为主的波音公司之后，这给了麦道公司狠狠一击。



图 1-3 臭鼬工厂研制的 SR-71 “黑鸟” 侦察机



图 1-4 臭鼬工厂研制的 F-117A “夜鹰” 隐身战斗机



1971年，美国战术空军司令部提出了 ATF 概念，这可以算是迈向第五代战斗机的第一步（国外对战斗机的划代采用五代划分法，见表 1-1）。1971年 4 ~ 6 月间，战术空军司令部、空军总部、空军系统司令部、航空系统部等部门的代表齐聚一堂，共同讨论 ATF 的发展方向。会后，空军系统司令部要求航空系统部获取 ATF 的初步设计权衡分析结果。当年 11 月，8 家飞机公司递交了研究方案。最后，麦道公司和通用动力公司分别获得了 20 万美元的合同，主要进行技术评估、参数和要点设计权衡分析。

表 1-1 战斗机的划代

划代	代表机型	主要性能
第一代	Me-262、F-80	最早可作战的喷气式战斗机
第二代	米格-15、F-86	采用后掠翼，高亚声速战斗机
第三代	米格-21、F-100、F-4	超声速高空战斗机
第四代	F-15、F-16、苏-27、米格-29、“阵风”、“台风”、“鹰狮”	高机动全天候战斗机
第五代	F-22、F-35、T-50	低可探测性、超声速巡航、超机动和信息综合能力

1972年，新一代战斗机技术研究开始全面展开，而这些研究后来被纳入一个大的技术发展计划，即先进战斗机技术综合应用计划（Advanced Fighter Technology Integration, AFTI）。波音、通用动力、格鲁门、洛克韦尔（Rockwell）、麦道公司参与了 AFTI 计划。1981年 6 月，美国空军发布第一份关于先进战术战斗机的信息征询书（Request for Information, RFI），并邀请 9 家公司参与讨论，分别是波音、费尔柴尔德、格鲁门、通用动力、洛克希德、麦道、诺斯罗普、洛克韦尔以及沃尔特飞机公司。麦道公司重点研究了鸭式布局，认为这才是下一代战斗机的主流，不过美国空军和海军却不那么认为。

1982年 10 月，美国大部分战斗机厂商代表和空军代表开会讨论 ATF 概念。在这次会议上，ATF 的概念基本成形：这种飞机已经明确作为下一代空中优势战斗机；必须具有超声速巡航能力；作战半径 1111 ~ 1482km；具有在 2000ft<sup>①</sup>跑道上起降的能力，为此发动机需要装备反推喷管；执行空战任务

① 1ft=0.305m。



时起飞重量不超过 27216kg，执行对地攻击任务时起飞重量不超过 36288kg。随后，美国空军发布方案需求，开始进入 ATF 概念详细研究（Concept Development Investigation, CDI）阶段。1983 年 5 月，CDI 阶段结束，空军发布了一份招标书（Request for Proposal, RFP）。1983 年 9 月，美国空军向所有厂商发出概念设计招标，波音、通用动力、洛克希德、麦道、诺斯罗普、罗克韦尔等 6 家公司宣布参与竞标。

在竞标的方案中，罗克韦尔公司提出的方案是所有方案中最美的，但是在评测中最差的。该方案几乎拥有当时一切对美的定义——修长的机头、曲线前缘的边条和机翼、椭圆形尾翼、宽间距短舱布局和带激波锥的三元进气口，这些都令罗克韦尔的方案成为了最美战斗机的经典之作。不过在对比竞争中，罗克韦尔的方案评分最差，最先被淘汰。

麦道公司的方案在评价中排名第五。该方案在机翼和尾翼布局上非常类似于洛克希德的 YF-22，这是因为麦道公司雇用了一些洛克希德公司的工作人员来支持该机的隐身技术。麦道公司的方案特别之处在于设计了一个楔形的机腹进气口。虽然麦道公司的方案并不是最差的方案，但公司还是对该方案在评定时竟然排在波音公司之后列第五位而感到非常震惊。

波音公司的方案排名第四。在今天看来该方案像是双发放大版的 X-32，当然这个方案诞生时间要早得多。飞机采用了菱形机翼和 V 形尾翼布局，最特别的是巨大的前伸式下颌进气口，这个独立且造型奇特的进气口同时为两台发动机提供进气。然而该设计虽然特别但是却留有隐患。倘若一台发动机失效或停转将会严重影响另一台发动机的效率。在弹舱设计上波音公司的方案与洛克希德公司的 F-22 是一样的。

通用动力公司的方案排名第三。该方案可以看做双发放大版的 F-16XL，飞机采用的是大后掠角三角翼布局，最大的特点就是全锯齿后缘。虽然该机采用了大量措施来降低飞机的可探测性，但是独立而高大的单垂尾严重破坏了整体隐身性。通用动力公司曾经计划在进气道上部的前缘根部扩散段加入两个共形天线阵，在进气口上方的机头部分安装红外传感器。

诺斯罗普公司的方案在评价中排名第二，与洛克希德公司的方案一同进



入了竞争试飞阶段。不过，诺斯罗普公司当时提出的方案与后来的 YF-23 大相径庭，飞机采用的是两侧进气，双垂尾轻微外倾，采用了矩形矢量喷口，此外，飞机机头没有采用融合体截面设计。该方案与后来的 YF-23 唯一的相同点仅在于前后缘掠角相同的菱形机翼。

洛克希德公司提交的方案评价最高，虽然该方案与后来的 YF-22 也不尽相同。该方案的箭头形机头和网格进气口更加类似于 F-117A，这些设计对隐身有帮助，但是机头设计严重影响了飞行员的下视野。该方案在竞争中最得分的地方在于满足操纵性要求的矢量推力和四尾翼设计。当然也只有这两点在最终设计中保留了下来，其他部分都没有留下。

1986 年 10 月 13 日，洛克希德公司的 YF-22（见图 1-5）和诺斯罗普公司的 YF-23（见图 1-6）获胜并进入竞争试飞阶段。麦道公司选择与诺斯罗普结盟，提出采用风险过大、非常规方案的 YF-23，最终输给了洛克希德、波音和通用动力小组提出的 YF-22。



图 1-5 YF-22 原型机

ATF 的演示验证计划是有史以来最大的战斗机采办竞争案例，持续时间长达 4 年多，耗资约 20 亿美元。ATF 竞争的失利给一直从事国防项目研究





的麦道公司带来了沉重的打击。究其原因，主要在于诺斯罗普、麦道小组对未来空战思想及军方需求的错误判断。而在洛克希德公司方面，它所设计的YF-22原型机具备了超声速巡航（不开加力）、超视距作战、高机动性、雷达与红外隐身等先进特性。洛克希德公司的创新研发部门——臭鼬工厂在这些优良特性的实现过程中做出过杰出的贡献。



图 1-6 1990 年 6 月 22 日，YF-23 原型机 PAV-1 在爱德华兹空军基地进行公开展示

鬼怪工厂虽于 20 世纪 50 年代就已存在，是麦道公司一个专门从事新产品研制的机构，但直到 1991 年，为了与洛克希德公司的臭鼬工厂开展竞争，麦道公司才正式创建了类似的创新研发机构——鬼怪工厂。该创新研发机构以麦道公司原有的“黑色项目”为基础，增加了一个新的重点，即低成本的原型机研制，总部设在密苏里州的圣路易斯，杰瑞·恩尼斯(Jerry Ennis)出任总裁。

### 1.1.3 “鬼怪”得名由来

鬼怪工厂的标志（见图 1-7）来源于麦道公司 F-4 “鬼怪” II 战斗机（见图 1-8），从外形看，两者颇为神似。F-4 “鬼怪” II 是原麦克唐纳公司为海军研制的双座双发舰载重型防空战斗机，后来美国空军也大量采用。F-4 于 1956 年开始设计，1958 年 5 月第一架原型机试飞，生产型则于 1961 年 10 月开始正式交付海军使用。1963 年 11 月开始进入空军服役。