

# 日本航空发动机产业发展浅析

## The Development of Japan Aero Engine Industry

■ 廖忠权 / 中国航发研究院

2018年6月,日本石川岛播磨重工(IHI)向日本防卫省交付了日本自主研制的XF9-1发动机原型机,引发了广泛的关注和好奇。通过研究日本航空发动机产业发展历程和现状,可以发现,日本在航空发动机领域今日所取得的成就,并非一蹴而就,而是有雄厚的产业基础作为支撑的。

### 日本航空发动机产业的复苏

1945年,第二次世界大战结束,日本作为战败国,其军事装备工业被取缔。在航空方面,日本被禁止从事航空产品的研发和制造,航空工业被迫解体,企业转产,人员分流。1952年《旧金山条约》签署生效,禁令被解除,日本航空工业的发展有了新的转机。

对于航空工业这样的高科技领域,厂房等硬件设施的建设可以很快恢复,但熟练的产业工人及深厚的航空文化底蕴等软实力却不是短期就能速成的。日本航空工业的发展虽然有7年的空白期,但此前的熟练工人仍可重操旧业,甚至不存在明显的技术人员断层问题。因此,日本一旦获得发展机会,其航空工业就迅速恢复。例如,三菱重工在战后就保留了大量的航空技术人员,因为三菱重工认为,航空是国家防卫的原动力,而且重视人才是其一贯传统,也因此军事工业解禁后,三菱重工迅速成为日本第一大军工企业。

### 财阀犹存

日本战败后,盟军认识到日本强大的财阀和装备工业是推动和支

撑日本走向军事扩张的重要力量,因此在1945年发表的《中美英三国促令日本投降之波兹坦公告》第11条规定:禁止可以使日本重新武装作战之工业。美国负责日本战后赔偿的全权代表鲍莱更是指出:“财阀是日本最大的战争潜力。”1947年,美国占领军公布并实施了《禁止垄断法》和《经济力量过度集中排除法》,指定拆除的公司为580家,其中包括了赫赫有名的飞机和发动机制造商三菱重工。三菱重工被拆分成了三家,包括东日本重工、中日本重工和西日本重工。随着朝鲜战争爆发,美国对日本的政策从最初的摧毁转向扶持。1948—1949年,实际被拆散的公司只有18家,而且在指定拆除的名单中并没有涉及银行,虽然财阀家族被处理,财阀企业被拆散,但是银行的经济实力却被保存了下来,使得这些企业日后得以有机会以资本纽带再次集结起来,并奠定了战后财阀复兴的基础。事实上,此后包括三菱重工在内的曾经被拆散的财阀又纷纷复合。此后发展壮大起来的三菱、川崎、石川岛播磨、富士等重工企业全是二战前的财阀,不过是改头换面而已,

这些财阀后来又重新成为日本装备工业,包括航空发动机产业的核心力量。

### 寓军于民

二战以后,日本受“和平宪法”制约,不能拥有核潜艇、航空母舰等进攻性的武器装备,只能保有自卫所需的装备,但在政府的大力扶植下,依赖其雄厚的工业基础和先进技术,建立了寓军于民的军事工业体系,而寓军于民的策略也是战后日本发展航空发动机等装备制造的重要策略。日本通过优先发展民用航空向军工技术进行渗透,将巨大的军事应用潜力藏于民用产品和技术之中。当然,从企业的角度看,生产军工产品利润并不高,仅为5%~8%。为了鼓励和维持企业生产防务产品的积极性,日本防卫省对拥有军工生产能力的企业提供长期稳定的订货和项目支持,保证防务产业资金的稳定性,从而规避了市场波动的影响。因此,日本政府从国家的角度在政策和资金上确保了民营军工企业自主研发、稳定生产军品的动力,带动企业长期有效地为日本的国土防卫服务。

与之对应的就是日本军工企业的军工依存度普遍较低,大部分的

技术拓展都借助民用技术的开发和  
发展，三菱重工、川崎重工、富士  
重工、石川岛播磨重工等无不如此。  
而且日本的航空航天企业，乃至其  
其他军工企业，工厂和制造车间没有  
严格地区分军用和民用，军民航空  
产品往往是在同一个工厂生产出来  
的。因此，从战争角度看，日本  
企业拥有强大的战争潜力，一旦发  
生战争，这些企业灵活的军民技术  
之间可迅速转换，形成强大的国防  
产能。

### 政策支持

日本对航空工业一贯采取政策  
上的支持和保护。1952年航空工业  
刚恢复，日本政府就制定了《航空  
工业企业法》，采取了一系列保护和  
优惠政策。1958年，航空工业从仿  
制转向自行研制，政府颁布了《航  
空工业振兴法》。到了20世纪80  
年代中期，当日本航空工业开展国  
际合作研制时，政府又于1986年制  
定了《航空工业振兴法修正案》。其  
中规定日本航空企业参与国际合作  
项目所承担的研制费用，由政府负  
担55%（名为开发补助费），其余  
45%中的70%可从日本开发银行  
获得低息贷款，同时政府给予贴息。  
正如所述，日本政府对航空研究发  
展工作给予了很大的支持，但是日  
本航空工业界仍然认为，其资助额  
距离发展的需要以及比欧美航空发  
达国家对航空工业资助有很大差距，  
因此呼吁政府给予更有力的支持。

日本军方使用的主要是国内许  
可证生产的、自行设计制造的或与  
国际合作的军用飞机和发动机，即  
使国内生产的飞机和发动机产品比  
进口产品昂贵得多，也坚持这一策  
略，如表1和表2所示，即便对当今

表1 日本许可证生产的军用航空发动机

发动机名称	装备飞机	发动机制造商	技术提供方
J79-11 涡喷发动机	F-104	石川岛播磨、三菱、川崎	GE公司
J79-17 涡喷发动机	F-4EJ	石川岛播磨、三菱	GE公司
TF40（阿杜尔）涡扇发动机	T-2、F-1	石川岛播磨	罗罗-透博梅卡公司
F100-100 涡扇发动机	F-15	石川岛播磨、三菱、川崎	普惠公司
F110-IH1-129 涡扇发动机	F-2	石川岛播磨	GE公司
T56-14 涡桨发动机	P-3C	石川岛播磨、三菱、川崎	艾利逊（罗罗）公司
T700-400/C 涡轴发动机	SH-60J、UH-60J	石川岛播磨	GE公司

表2 日本自行研制与国际合作研制的军用航空发动机

发动机	装机对象	研制单位	备注
J3 涡喷发动机	T1-B、P-2J 飞机	日本防卫省第三研究所、日本 喷气发动机公司、石川岛播磨	1959 年开始生产
FJR710 涡扇发动机	短距起降试验机	日本航空航天研究所、石川岛 播磨、三菱、川崎	1971 年开始生产
TS1 涡轴发动机	OH-1 侦察直升机	三菱	
F3 涡扇发动机	T-4 中级教练机	石川岛播磨	1987 年开始生产
XF3-400 涡扇发动机		石川岛播磨	技术验证
XF5-1 涡扇发动机	ATD-X “心神” 技 术验证机	石川岛播磨	
F7-10 涡扇发动机	P-1 反潜巡逻机	石川岛播磨	P1 飞机装 4 台 F7-10

最先进的战斗机也是如此。按当初  
的约定，日本从美国洛马公司采购  
的42架F-35A，只有4架由洛马公  
司生产，另外38架都是在日本国内  
组装，由三菱重工小牧南工厂承担  
这一任务。

### 国际合作

1981年，石川岛播磨重工与三  
菱重工、川崎重工共同组建日本航  
空发动机协会（JAEC）。作为一个  
非营利性的财团法人组织，JAEC  
旨在推进日本民用航空发动机的发展，  
主要是协调日本航空发动机制造商  
参与民用航空国际合作项目，并代  
表日本发动机制造商与国外企业建  
立技术合作关系，获得的发动机技

术合作项目再在日本国内进行分工  
合作。日本这三家主要的发动机生  
产商形成了一个整体，既集中了各  
家优势，又避免了本国企业在承担  
国际合作任务时相互竞争，集中力  
量对外时承担国际合作任务的能力  
也更强，如今已成为世界领先的发  
动机制造商GE、普惠、罗罗等公  
司的一级供应商，稳居世界民用航  
空发动机产业链上端，并已形成自  
己的技术优势，以风险合作形式参  
与国际合作，甚至在参与研制的新型  
发动机上拥有一定的股份。

国际合作一直是日本航空工业  
发展的重要路径。1952年，对日本  
航空工业的封锁解除后，一开始是

修理美国在朝鲜战场被击伤的飞机。从1954年开始，日本认为应该建立完整的航空工业体系，于是购买美欧专利进行许可证生产，仿制国外产品。从20世纪60年代开始，日本开始转向民用航空转包和合作研制，成为波音、空客、巴航工业、庞巴迪、GE、普惠、罗罗等公司的供应商。最初日本航空企业只是简单地承接转包生产，之后逐渐过渡到风险合作，成为国外制造商的稳定供应商，甚至成为一些零部件的永久供应商，承担的研制任务份额也逐渐增多。例如，日本在波音767飞机上只承担了15%的工作份额，而到波音787则上升到了35%。

在发动机方面，开始还只是承担低压部件和一些非核心部件，之后就过渡到参与核心机部件研制。例如，石川岛播磨重工在GP7200、GEnx发动机上承担了高压压气机叶片研制任务，而三菱重工在遛达1000、遛达XWB、PW1100G-JM等发动机上承担了燃烧室模块的研制任务。在波音787项目上，日本投入30亿美元的研发资金，其中石川岛播磨重工为波音787飞机发动机投入了3.5亿美元的研发资金。

## 日本航空发动机企业

日本主要的航空发动机制造企业有3家，分别是石川岛播磨重工（IHI）、三菱重工（MHI）和川崎重工（KHI）。

### 石川岛播磨重工

石川岛播磨重工是日本一家综合性企业集团，业务涵盖航空、航天、能源、船舶、机械、物流等领域。该企业成立于1853年，最初是江户川石川岛创建的官办造船所，长期从事造船业。历经近100年的发展变迁后，

于1945年6月建立石川岛播磨重工业公司，1945年8月二战快结束前制造并交付了5台Ne-20喷气发动机，用于装备日本海军的橘花改自杀特攻飞机，开始进入航空发动机领域。战后石川岛播磨重工于1957年成立航空发动机事业部，先后主导或参与研制日本自行开发的JR100发动机、JR220发动机、FJR710民用涡扇发动机、F3军用涡扇发动机、F7-10大涵道比涡扇发动机等。

2000年7月，IHI航空航天公司成立，该子公司主要从事航空航天产品包括发动机的设计、制造与销售。值得一提的是，IHI是战后日本主要的航空发动机制造商，承担了日本60%~70%的航空发动机研制生产任务，也参与了大量的民用航空发动机国际合作项目（见表3）。日本军用航空发动机几乎都由它作为总承包商进行许可证生产。

### 三菱重工

三菱重工是一家多元化发展的

企业集团，最初是源于1884年成立的长崎造船所。特别值得一提的是，长崎造船所自诞生以来一直都是日本主要的军舰生产基地，二战时曾建造过武藏号战列舰，这也是人类历史上最大的战列舰之一，130余年后的今天，这个造船所仍然是日本主力战舰制造基地之一。1917年，三菱重工开始涉足航空，最初从事的与航空有关的业务就是制造航空发动机，从试制法国雷诺公司的航空发动机起步，直到二战结束，三菱重工都是日本最重要的航空发动机和飞机制造商。而后来的发动机领导企业石川岛播磨重工是1945年二战快结束才进入航空发动机领域。三菱重工除大量参与民用航空发动机国际合作业务（见表4），还于20世纪90年代自行研制了MG5涡轴发动机，改装三菱重工自行研制的MH-2000直升机。

### 川崎重工

川崎重工最初也是一家造船所，

表3 石川岛播磨重工的民用航空发动机国际合作业务

合作形式	发动机	合作伙伴	承担任务
国际合作	V2500	IAE公司	风扇、风扇机匣、低压压气机
	CF34	GE公司	风扇叶片、高压压气机、低压涡轮
	GE90	GE公司	低压涡轮叶片、盘、长轴（占10%的股份）
	RB211-524	罗罗公司	涡轮叶片
	遛达500/700/800	罗罗公司	中压压气机盘、低压涡轮叶片、长轴
	遛达900	罗罗公司	低压涡轮叶片
	GP7200	EA公司	高压压气机叶片、轴
	GEnx	GE公司	低压涡轮、高压压气机叶片、轴
	PW1100G-JM	普惠公司	风扇、风扇机匣、低压压气机
转包生产	PW4000	普惠公司	长轴
	CT7-9	GE公司	减速装置

成立于1896年，1919年开始进入飞机制造业。二战后，1953年重新开始飞机制造业务，也同时开展航空发动机研制。在航空领域，川崎重工以直升机为主，同时生产教练机、运输机、反潜巡逻机，维修E-767和E-2C预警机，也生产F-2战斗机和民用飞机部件，并生产C-1/P-1军用运输机。川崎重工从事航空发动机研制与生产业务的工厂是明石工厂和明神工厂。明石工厂的业务包括喷气发动机、飞机传动系统、摩托车、机器人，而明神工厂的主要业务则是喷气发动机和燃气涡轮部件，川崎重工也参与了大量民用航空发动机国际合作任务（见表5）。

### 日本航空发动机产业能力

日本航空发动机制造商能够成为世界领先航空企业的一级供应商，参与当今世界最先进民用航空发动机的研制，是日本国内包括先进材料在内的航空发动机产业能力的集中体现。日本参与国际合作承担的研制任务包括了风扇叶片、低压压气机、低压涡轮、风扇机匣、涡轮机匣、齿轮箱这类冷端部件，以及燃烧室这类热端部件，其相应的研发能力都处于世界前列。虽然日本承担的国际合作任务没有覆盖整台发动机的各个模块，但日本其实有发动机整机研制的经验和能力，F3、F7-10、TS-1、MG5等发动机皆是已经投入使用的自主研制产品。

此外，众所周知，日本在材料领域技术实力非常强大，高温合金、陶瓷基复合材料（CMC）、碳纤维复合材料、树脂基复合材料等，都实力不凡，特别是陶瓷基复合材料，是SiC/SiC复合的材料，是一种极具

表4 三菱重工的民用航空发动机国际合作业务

合作形式	发动机	合作伙伴	承担任务
合作开发 (风险合作)	JT8D-200	普惠公司	
	V2500	IAE公司	主动间隙控制系统、高压涡轮机匣 (参股3.45%)
	PW4000	普惠公司	低压涡轮(3#盘、4#叶片)、燃烧室 (参股10%)
	PW6000	普惠公司	燃烧室模块(参股7.5%)
	GEEnx	GE公司	燃烧室机匣
	遛达XWB	罗罗公司	燃烧室模块、低压涡轮叶片
	遛达1000	罗罗公司	燃烧室模块、低压涡轮叶片(参股7.0%)
	PW1100-JM	普惠公司	燃烧室模块
	PW1200G	普惠公司	燃烧室、高压涡轮、装配和测试
	遛达7000	罗罗公司	燃烧室模块、低压涡轮叶片
转包	PW210涡轴发动机	普惠加拿大公司	涡轮
	CF34-10		燃烧室机匣

表5 川崎重工的民用航空发动机国际合作业务

合作形式	发动机	合作伙伴	承担任务
风险合作	V2500	IAE公司	风扇机匣(参股5.75%)
	CF34-8	GE公司	齿轮箱
	CF34-10	GE公司	齿轮箱、低压涡轮
	PW4000	普惠公司	低压压气机盘(参股1%)
	RB211-524	罗罗公司	涡轮机匣(参股3%)
	RB211-525	罗罗公司	低压涡轮/盘
	遛达700/800	罗罗公司	低压涡轮盘(参股3%)
	遛达900	罗罗公司	涡轮、低压压气机机匣(参股6%)
	遛达1000	罗罗公司	中压压气机模块(参股8.5%)
	RE220(APU)	霍尼韦尔公司	齿轮箱
	131-9(APU)	霍尼韦尔公司	涡轮叶片

前景的发动机新材料，用在发动机涡轮叶片上能提高涡轮前温度，GE公司也正在努力将其应用到发动机的各种部件。SiC纤维是SiC/SiC陶瓷

基复合材料的上游产品，目前仅日本和美国能批量提供SiC纤维，而实现产业化、产能达百吨级的仅有日本碳素公司和日本宇部兴产株式会

社。2012年GE公司还与赛峰集团共同发布联合日本碳素公司合资成立NGS公司，生产和销售Nicalon品牌SiC纤维。日本对外宣传XF9-1涡扇发动机时，也重点强调其采用了日本独立研发的陶瓷基复合材料以提高涡轮前温度，使涡轮前温度达到1800℃。

## 日本航空发动机研制能力

二战以后，日本自主研制的航空发动机型号稀少，如前所述，只有寥寥几型，其型号研制经验与航空强国、大国相比或有不足，但日本的研制经验和能力一直在增强。1973年，日本IHI开始研制XF3发动机作为T-4教练机的动力，1987年F3发动机正式服役，最大推力为16.7kN。随后，XF3发动机的改进型XF3-400技术验证机进一步将推力增大到33.3kN，并利用XF3-400进行了二维推力矢量技术验证，使得日本成为当时

少数掌握推力矢量技术的国家。进入20世纪90年代，日本又开始50kN级发动机XF5的研制，其目标就是向美国的四代机看齐，连结构都采用了与美国F119发动机相似的布局，之后研制出的XF5-1发动机验证机用于ATD-X“心神”技术验证机。据2014年日本防卫省技术研究所公布的数据，XF5-1发动机质量为644kg，不开加力推力为50kN，不开加力推重比为7.8。与之相比，美国F119虽然最大推重比为10.7，但不加力推重比只有7.2；美国F135是迄今为止推力最大的战斗机发动机，质量为1670kg，不开加力推力为128.1kN，最大推力为191.3kN，不开加力推重比为7.6，最大推重比为11.5。可见XF5-1发动机的不开加力推重比竟在F119和F135之上。虽然部分技术参数不能代表发动机的全部性能，但可以反映出日本航空发动机的技术实力不容小觑。目前引人瞩目的XF9-1发动机的研制则可追溯

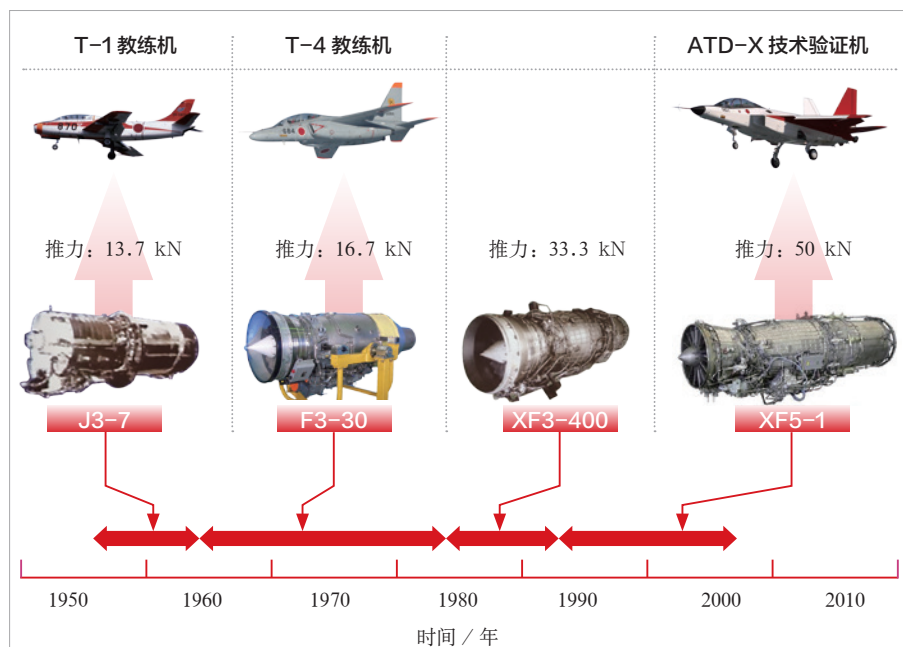
到2010年防卫装备厅提出的“下一代发动机主要部件研制”计划，IHI已于2010年开始发动机核心机部件的相关研究；2013年，IHI开始发动机核心机研制；2017年6月，IHI向防卫装备厅移交了核心机；2018年6月，IHI向防卫装备厅移交了XF9-1发动机原型机。XF9-1发动机不开加力推力为107.8kN（11t）以上，加力推力为147kN（15t）以上，涡轮前温度为1800℃，与美国F119发动机在同一水平上。虽然XF9-1目前只是原型机，距离实际使用还有相当长的距离，但XF9-1反映出的历史意义则是日本已经初步具备研制第四代战斗机发动机的能力。

## 结束语

二战结束后，日本航空发动机乃至航空产业在逐渐恢复战前产业的基础之上，经过半个多世纪的积累，已经形成了较完整的航空产业链，具备了强大的技术实力。虽然受限于特殊的国情不能肆无忌惮地发展军备，但其利用寓军于民在内的一系列策略，在大力开拓国际民用航空市场，让日本民用航空产品发展的同时，也增强了航空产业整体实力，进而促进了军用航空，包括航空发动机的发展，使其一步步从小推力发动机逐渐过渡到了大推力、四代发动机XF9-1的研制。中间过程虽然曲折，但呈现出的目标却非常明确，那就是日本谋求航空强国之决心从未停歇、从未放松，甚至也从未动摇，这才是真正值得高度关注的。

**航空动力**

（廖忠权，中国航发研究院，高级工程师，主要从事航空发动机前沿技术探索和产业发展研究）



1950—2010年日本小涵道比军用航空发动机发展历程