

巴航工业多年来一直在认真思索 公司未来的发展方向:是像竞争对手 庞巴迪那样,研制与波音737和空客 A320 同级别的全新飞机,直接与世界 两大航空巨头展开正面竞争?还是继 续谨慎行事,坚持于传统支线和干线 之间的市场领域?

巴航工业选择了恰当的发展战略, 全力发展支线喷气客机,并已悄然加 入窄体干线客机市场争夺的行列,不 久的将来, 其很有可能成为窄体干线 市场中强有力的竞争对手之一,这也 许是巴航工业"明修栈道,暗度陈仓" 之计。



为了优化气流,巴航工业对E2发动机吊架进 行了微调,比E1型的短,不再紧贴襟翼。

为了实现进入窄体干线客机市场 的目标,巴航工业在 E2 系列的发展中 通过调整型号发展策略、采用全电传 操纵系统、飞机布局设计更改等一系 列措施,逐渐靠近他们心中的期望。

## 调整发展策略

巴航前任首席执行官库拉多以及 他的团队对新型飞机的研发一直保持 谨慎态度,2013年6月在巴黎航展期 间才正式对外宣布启动 E-Jets E2 项 目,但实际上E2系列飞机与第一代 E-Jets 飞机相比有很大的差别。库拉 多的继任者保罗・席尔瓦和巴航工业 商用飞机总裁兼首席执行官约翰・斯 莱特里对新型飞机研制的态度非常积

极与明确,希望通过这个项目能实现 公司愿景。

E2 飞机与 E1 系列飞机看上去很 相似,但实际上这两型飞机是完全不同 的。E2 系列飞机技术上比第一代更先 进, 更接近于全新设计的飞机, 而不 仅仅是在第一代 E-Jets 飞机基础上的 升级改进。从这个意义上说, 巴航的 飞跃要比波音 737 MAX 系列或空客 A320neo 系列大得多, E2 飞机的研制 也不是谨慎的象征。E1 系列飞机由四 款70至122座级的商用喷气飞机组成, 分别为 70~80 座的 E-170, 78~88 座 的 E-175, 98~114 座 的 E-190, 以 及 108~122 座 的 E-195。E2 喷 气 系列飞机由E175-E2、E190-E2、 E195-E2三款机型构成,放弃了最 小型别 E170 的继续研制。E1 系列的 E175 与美国地区支线运营公司合作非 常成功, E2 继续保持合作, 且比 E1 型增加一排座椅, 其高密度布局可容 纳多达 90 名乘客。E190-E2 的客容 量与 E1 型的保持不变(最多 114 个座 位),但E195-E2比其E1型要大得多, 增加了三排座位,典型配置为 132座, 最大客座数可达 146座(单舱布局)。

在 E2 系列研制中, E195 与 E190 差异更大一些。最大型 E195–E2 计 划于2018年底获得型号合格证,并于 2019年上半年交付启动客户 Azul 投 入运营,目前已有两架飞机进行飞行

客量并不是 E2 系列三款机型 的唯一区别, E190-E2 和 E195-E2 选装同型发动机普惠PW1900G-JM, 但都是专门定制的。虽然采用了超大 展弦比机翼, E195-E2 的机翼空气动 力学特性与E190-E2类似,但翼梢 组件不一样,结构上也做了一些修改。 E175-E2 采用特制的与 E190-E2 形 状相同但尺寸更小的机翼, 发动机采 用PW1700G-JM。巴航认为差异化 的关键是提高飞机性能, E190-E2 飞机具有比第一代更大的航程, 达到 5333 千米, 最大型别 E195-E2 的航 程为 4815 千米。

E190-E2 优于其性能指标要求。 其燃油消耗比 E1 型降低了 17.3%, 这 也意味着其航程更大,维修间隔也比 预期时间长。

E2 不仅从技术方面来说是一款新

飞机, 从其他方面也彰显着创新, 巴 航借助这型飞机有望打入更高座级 的细分市场领域。这些希望寄托在 E195-E2上,它属于E2系列中运营 单座成本最低且座位数最多的机型, 预计 2019 年投入使用。它能否成为与 空客 neo 系列中 A321neo 相媲美的产 品,并开拓一个新市场来刺激强劲的 市场需求拭目以待。

#### 采用全电传操纵系统

由于采用闭环电传操纵(FBW) 系统,飞机布局和效率方面也有许多 改进。

E2 采用的电传操纵系统为第四代 系统。20世纪80年代AMX战斗机 的电传操纵系统只控制方向舵和扰流 板, E1 的电传操纵系统包括了俯仰控 制和偏航控制,莱格赛 450/500 引入 了第一代全电传操纵系统, KC-390军 用运输机是第一架采用巴航工业自己 研发的 FBW 软件的飞机。

E2 系统提供飞行各阶段的全包线 保护功能。振杆器和 E1 型通用,不需 要进行认证。FBW 系统包括一个迎角 (AOA)限制器, 当振杆器被激活时, 该限制器就会降低驾驶杆抬头的权限, 使飞机高度缓慢下降,保持速度不低 于 AOA 限制迎角对应的速度,而不使 用起飞/复飞推力。该系统还包括超速 保护功能,在飞机速度过高时可以命 令飞机抬头来降低速度。

为简单起见, FBW 系统只有两种 模式(正常和直接),而不像空客所采 用的三种模式(正常,备用,直接)。 虽保持 E2 与 E1 的操纵特性相似,但 是系统内部的控制律差异较大。

E2 的电传操纵系统不仅比 E1 的 开环系统提供更好的保护, 还可以通 过自动输入来减少湍流中的振荡。E1 按照传统方法进行设计,后来增加了 电传操纵系统。但是 E2 从设计伊始就 考虑了该系统, 因此优化了多个部件 的重量和尺寸。例如,由于在整个飞 行过程中使用副翼更多, 使机翼结构 重量减轻 200 千克。而且由于飞机在 地面减速制动时也会启动该系统,不 需要采用较大的机轮和制动器。

由于采用了电传操纵系统, 巴航 工业将 E2 的机翼稍微向前移动,这样 使得全机重心包线后移,这一改变对 于飞机操纵性有重要的影响,操纵时 需要的力会更少, 水平安定面的尺寸 因此减少了10%,而不需增加垂直安 定面的尺寸。尽管飞机比 E1 更大、更 重, E195-E2 最大起飞重量从第一代 的 58.7 吨增加到 61.5 吨,但却使燃料 消耗减少了1.5%。如果按照传统的设 计,垂直安定面必须要增大15%。E1 需要垂直安定面前部和机身顶部交界 处的背鳍来增加飞机稳定性,但 E2 型 去掉了背鳍, FBW 系统能够自动为全 机提供必要的稳定性。

## 设计方案优化

相比 E1 型, 巴航工业在 E2 的设 计过程中逐个系统进行了检查讨论,多 方权衡是否需要进行更改。第一, E2 的三种型别飞机都采用单缝襟翼。E1 型采用双缝襟翼, 双缝襟翼的运动和 维护更加复杂,并会产生更大的阻力。 E2 襟翼的气动效率较 E1 更高。巴航 工业曾考虑过 E2 机翼采用复合材料, 但权衡后认为这种更改在经济上还不 合理。如果机翼再大一些,可考虑采 用复合材料。

第二,缩短发动机挂架,不再与 襟翼相贴, 挂架的末端略微弯曲以避

免湍流,并且与襟翼滑轨整流罩一起, 使气流流动更光顺。

第三,起落架方案的更改(采用 摇臂式起落架)。由于设计要求之一 是保持机身高度与 E1 相似, 但 E2 所 采用的齿轮传动涡扇发动机直径更大, 起落架很难收进新的更紧凑的起落架 舱内。此外,由于 E2 型的重心位置更 靠后, 在地面滑行时必须确保前起落 架上有足够的重量。对于这两个问题 的解决, 巴航工业通过起落架的后连 杆来解决,这样既节省空间又确保前 起落架承担足够的重量。

第四,增加了起落架机轮舱门,使 燃油消耗减少1%。拆除机身后部的许 多活门和天线, 气动方面也因此有所获 益,现在将天线布置在飞机的顶部。

#### 采用全新客舱设计

巴航工业 E-jets E2 系列飞机的 客舱设计理念绝不是以当代 E- 喷气 系列飞机客舱为基础,进行简单的更 新换代, 而是构建了新一代巴航飞机 乘坐体验的全新蓝图。E-jets E2的客 舱行李架不仅在外观上更加整洁美观, 同时侧壁每边增加1英寸(2.5厘米) 的额外空间。新的头顶行李架纵深增 加约3英寸(7.62厘米),可以存放国 际航空运输协会(IATA)规定的标准 登机行李箱;行李箱滚轮朝内时,每 个行李架可容纳4个行李箱,因此每 个乘客可以在头顶行李架存放一个大 件手提行李, 前排座位下的空间留给 更小的物品,并且提供更多的腿部活 动空间。

#### E2 与干线飞机的对比

与庞巴迪 C 系列相比, 巴航工业 最大优势之一是拥有700架大型第一 代飞机(E170、E195)的组装基地, 外加 700 架小型的 E 170 和 E175 飞 机组装能力。到 2017 年底, 巴航工业 已交付了 1400 架 E-Jets 飞机。

巴航工业期望E2尤其是 E195-E2 能够进入干线领域。他们认 为,与空客 A320neo 和波音 737-8 相比, E195-E2 的航段成本分别降低 了 22% 和 24%。但相比于 154 座级 的空客 A320neo 和 160 座级的波音 737-8, 其单座成本分别高出6%和 8%, 而近年来航空公司倾向于使用座 位容量更多的机型,大多数航空公司 会使座位数增加到更多, 因此, 巴航 工业的单座成本的劣势可能会更明显。 对于巴西制造商来说,许多航空公司 仍然把重点放在降低单座成本上,而 不是全面降低风险(合理布局大中小 座级飞机机队)。巴航工业坚持认为航 空公司应该"适当地调整"其机队构成, 随着 E2 的投入运营,干线航空公司会 很快做出改变。

## E2 的订单情况

E2的确认订单包括100架 E175-E2 订单、74 架 E190-E2 订单 以及 106 架 E195-E2 订单。E2 的储 备订单理论上是280架,但其中部分 订单存在一定风险。一方面是因为这 些订单里包括前印度支线运营商科斯 塔航空公司的 50 架 (25 架 E190-E2 和 25 架 E195-E2),但该航空公司已 停止运营。另一方面,由于 E175-E2 不符合美国飞行员工会的"范围条款" 协议, 天西航空公司的订单存在不确 定性。即使现在交付航空公司,依然 无法运营,而且巴航工业坚称,这款 机型延迟到 2021 年投入运营的目标不 变。但是巴航公司对 E2 飞机的性能很 有信心,坚持认为航空公司在了解 E2

表 1 E2 系列机型技术数据表			
	E175-E2	E190-E2	E195-E2
航程	3815 干米	5333 千米	4815 干米
座位容量	80~90	97~114	120~146
发动机	7711 千克	10432 千克	10432 千克
	PW1700G-JM	PW1900G-JM	PW1900G-JM
最大起飞重量(MTOW)	44.8 吨	56.4 吨	61.5 吨
起飞距离(MTOW)	1800 米	1620 米	1970 米
最大载荷	10.6 吨	13.1 吨	16.1 吨
最大巡航速度	Ma 0.82	Ma 0.82	Ma 0.82
运营时间	2021年	2018年4月	2019年

飞机的性能之后,愿意针对此款飞机 重新与飞行员工会谈判。

斯莱特里预计, E2 在完成认证和 投入运营后不久,将会涌现"大量的 订单"。捷蓝航空是该项目早期市场推 广阶段最重要的客户, 正在考虑更换 其现有 E1 机队 (88 架 E190 的大型机 队,其中64架已交付)飞机,可能在 今年夏天最终确定,对 E2 的市场非常 重要。

#### E2 系列的生产制造

E2 也是巴航工业商用飞机现代化 生产系统的催化剂。公司在提高制造 工艺技术方面投资很大,飞机机库的 部署也进行了改进,引入了更多的自 动化。与波音和空客相比,整体生产 水平相对稍低, 在变革和自动化方面 也没有投入同等资金。但如果 E2 系列 飞机的产量稳定在高于预期的水平上, 巴航工业可能对制造技术的改进会多

另一个因素也起着重要作用:巴 航工业计划在可预见的未来继续生产 E1, 并根据自己的意愿进行制造, 这 可能是因为 E175-E2 范围条款问题尚 未解决,以及 E1 当前具有不错的市场 表现。2017年12月底以前,仅有5 架 E195-E1、46 架 E190-E1 确认订 单待交付, 然而, E175-E1 的确认订 单还有 103 架待交付, 是双重战略的 真正驱动因素。

E-Jets 的最后组装过程分布在几 个机库,但所有机库的流程都在变化。 在圣若泽杜斯坎普斯的 F220 大楼内安 装发动机和客舱内饰, 该大楼已经完全 重建了混合生产线。随着 E2 系列机型 的推出,新机型的专用站位将以分阶 段方式保留首批制造的4~6架客机, 以实现全线混合生产, 而不会中断更 快的 E1 生产流程。在第二阶段,其中 一个站位将以混合方式生产 E1 和 E2, 以隔离风险, 防止出现任何延误。在第 三阶段, E-Jet 的这两代飞机可以在所 有站位生产。

在生产过程的前期已经实施了混 合生产方法,巴航工业博图卡图工厂 在 E1/E2 联合生产线上生产前机身和 中机身, 然后在 F107/2 机库的制造 商主站位对接。

机翼壁板在葡萄牙埃武拉工厂加 工,并运往巴西。F107/3 大楼负责机 翼生产,成为 E2(E2 系列的所有三种 机型)实施90%自动化钻孔和铆接的 移动生产线,机翼与机身在 F60 机库 实施对接。

巴航工业最大商用喷气式飞机目 前生产能力为每月14架(目前的生 产速率仅达到制造能力的一半左右), 2018年,该公司预计将生产85架至 95 架飞机, 其中 10% 是 E2 飞机。明 年 E2 的生产比例将大幅增加,除非 E1 出现大量意外订单。

2017年度巴航工业共交付了101 架商用飞机,但该生产水平不足以满

足公司对 E2 制定的目标并及时收回投 资。按照新机型研制周期,产量需要 增加至每月14架,几乎是目前生产速 度的两倍,目前的生产速度在过渡阶 段相对较低, 巴航希望每月的产量达 到 16 架或更多, 甚至达到每月 18 架。 巴航甚至期望能达到 2008 年的年度交 付记录 162 架。

### 巴航对 E2 系列的运营支持

E2 投入运营前期的准备工作非常 多,由 100 名工程师负责项目支持和 技术成熟度方面的工作, 共确定了涉 及飞机成熟度的600个关键点,在飞 行测试活动中对这些关键点进行监控。 同时对供应商进行了更深入的审查, 以确保系统和组件的成熟度。作为制 造商,巴航的工作人员直接到供应商 那里进行现场检查,而在以前,从来 没有这样深入检查过供应商的工作。

巴航工业在十多年前开始 E1 系列 研制时,各方面的条件还不太成熟,现 在已经发展地相当好,这也是巴航花 了10年时间才取得如今的成就。巴航 对 E2 制定的目标是签派可靠度在 12 个月后达到99%,四年后达到99.5%。

威德罗航空公司作为 E2 的启动 客户, 定会将 E190-E2 飞机运营的越 来越好。在运营筹备工作中, 巴航工 业邀请威德罗航空公司一起加入,在 E190-E2 投入商业运营前的一段时间 里,威德罗已安排了一名飞行员参加 E190-E2 在美国北部和加拿大进行的 飞行试验。此外,为了避免航班运营 中出现任何问题, 巴航工业也在研究 制定一系列措施,来保证系统具有足 够的裕度,而且这项工作会一直持续 (王妙香) 进行。



E2主起落架有一个后连杆以节省空间, 并确 保在滑行过程中前起落架上有足够的重量。

# 卡雷姆电动垂直起降飞机将帮助优步达成运营目标



卡雷姆的"蝴蝶"是5座全电倾转4旋翼无人机,飞行员座舱和乘员舱分离。

卡雷姆公司在近日洛杉矶举办的 第二届优步"提升"峰会上,展示了 其为优步设计的电动垂直起降飞机方 案"蝴蝶"。优步证明,如今的电池 科技可以支持城市空中共享飞行服务

的飞机平台需求。在峰会上, 优步宣 布卡雷姆作为平台合作伙伴加入"提 升"项目,同时还宣布将使用中国台 湾 E-One 茉莉能源的锂离子电池, 并为平台伙伴开发安全、可认证的电

作为对优步在密集城市环境中开 展大规模空中出租车运营规划的质疑 的回应, 优步发布了使用卡雷姆无人 机和茉莉电池可以满足其需求的研究 结果。"蝴蝶"是5座电动垂直起降 飞机, 使用卡雷姆的优化转速倾转 旋翼(OSTR)技术。OSTR来源于 A160蜂鸟长航时直升机。A160上 的优化高速旋翼由安倍・卡雷姆一 "捕食者"无人机的创造者设计,可 以使旋翼转速在很宽的范围内变化, 最低降至50%来延长航时。卡雷姆公 司在设计商用倾转翼的同时也参与美 国未来垂直起降飞行器 (FVL)项目 中军用旋翼机的设计。"蝴蝶"是该 技术的全电推进型的例证。卡雷姆的 产品和商务主管瑞恩·多斯称:"OSTR 是垂直起降的高效涡桨。分布式电推 进(DEP)极大简化了OSTR所需的 系统。在卡雷姆的更大型的 OSTR 设 计中, 倾转发动机舱中的涡轴发动机

通过2速变速箱驱动刚性推进旋翼, 没有复杂性。"多斯称 OSTR 可调节 旋翼转速,降低悬停功率需求和噪音, 这些是优步的关键关注点。蝴蝶高效 巡航时升阻比很高, 桨盘负载非常低, 有利于高效、安全地悬停。较低的桨 盘负载有助于控制噪音, 旋翼桨叶的 形状可降低该旋翼机的叶片 - 涡交互 噪音特性。

"蝴蝶"仅有4个旋翼,比优步 其他平台伙伴的大部分电动垂直起降 飞机设计少得多,有可能导致分布式 电推进冗余度的降低,但多斯称:"系 统中有多重冗余设计,是在单个原件 内置的。我们对重心、动力和控制的 把控范围很大。"多斯称飞行的关键 阶段是由垂直向水平飞行的转换,"蝴 蝶"倾转旋翼机的转换区间很宽,转 换阶段是完全可逆的,这意味着飞机 可在任何时候结束转换, 可安全地重 回旋翼或固定翼飞行。例如,飞机在 城市区域遇到了建筑之间的微气流的

时候, 宽的转换区间和大的把控范围 可使飞机安全运营。

优步要求卡雷姆模拟其电动垂直 起降飞机使用现有电池的性能表现。 多斯称: "300 瓦时 / 千克的电池包 水平还得等很多年, 优步要求我们聚 焦于 180 瓦时 / 千克的范围。使用现 有水平的电池,'蝴蝶'能满足优步 的要求。"建模仿真结果显示使用寿 命末期能量密度仅为 143 瓦时 / 千克 的电池包,"蝴蝶"的航程也达到了 135 千米, 还有 9 千米的备用里程。 优步用来评估电池包的指标是96千 米,而其常规运营里程仅为40千米。

优步的"提升"愿景中更重要的 是在早晚交通高峰的较高的飞机使用 率。模拟结果显示,在需要地面深度 充电前,"蝴蝶"飞机使用茉莉电池 可在3小时高峰期内完成10个40千 米任务飞行间充电时间仅为8分钟。 多斯称:"从历史发展角度来讲,电 池技术的开发没有达到预期, 我们的

飞机可使用现有电池, 不需要电池的 改进,但电池改进后我们的飞机能提 高性能并减少充电时间。"使用茉莉 电池的飞机已大批量生产,但目前电 池包并未完全满足优步的需求。

与此同时,卡雷姆将在12月为 美国陆军牵头的FVL中期规划的前 导项目——陆军的联合多角色技术演 示验证机(JMR TD)项目开展直径 10.9 米的推进旋翼和变速箱的系留测 试。JMR/FVL项目平台的最大起飞 重量是"蝴蝶"的6倍,因此卡雷姆 将制造其较小的电动垂直起降飞机的 全尺寸演示验证机。公司首席执行官 和主席本・蒂格纳称这项工作将在该 公司为验证噪音预期来开展独立的旋 翼声学度量测试工作前开展。优步计 划于2020年在达拉斯和洛杉矶开始 使用电动垂直起降验证机开展演示飞 行,关键目标是确定公众对噪音的接 受程度。