



SIEMENS
Ingenuity for life

Siemens Digital Industries Software

应用多学科协同 (ECAD/ MCAD) 来降低项目风险

摘要

在过去十年中，技术进步和新市场需求导致飞机设计复杂性呈指数级增加。ECAD-MCAD 自动化协同设计可以提高效率，同时确保稳健的设计并降低质量成本。航空航天机械和电气设计人员现在能够更高效地同步他们的数据，并在关键设计项目上更有效地协同，从而确保正确实施设计意图。

航空航天及国防部总监
安东尼·尼科利

挑战：飞机机电设计

新型商用飞机的设计和制造极其复杂、昂贵且面临风险。在新飞机投入使用之前，这项开发可能耗资数十亿美元并持续长达十年的时间。不断增加的机电复杂性和密度使得飞机设计极具挑战性和资源密集性（图 1）。电子设备控制下一代飞机中的大多数关键系统，如飞行控制作动、座舱增压和机翼除冰。连接和控制这些系统所需的计算机、传感器和布线将占据机身内部的主导地位。由于对娱乐和通信系统的需求不断增加，机舱设施增加了更多布线。

飞机还必须支持大量冗余，以防止个别系统故障造成灾难。美国联邦航空管理局 (FAA) 制定的电气线路互联系统 (EWIS) 规定概述了飞机线束的设计、实施和维护标准。这些规定的一项主要内容是电线与其他系统和其他布线的物理分隔和隔离。这对于在飞机上实现安全和冗余要求至关重要，并有助于防止诸如线束擦伤、电弧放电和电磁干扰等故障损坏或扰乱其他系统。

尽管存在困难，但机电设计和开发必须遵守严格的时间表。进展延误可能会导致额外开发和延期投入使用造成的后续影响，从而使公司损失数百万美元。更重要的是，设计中的错误可能会在制造开始时演变成更大的问题，进一步危及进展。即使是导线长度或线束间间隔上细微的失准也可能妨碍线束的正确安装。这不仅会增加成本，还会延迟向客户交付飞机的时间，影响公司的声誉和股票价格。

此外，航空航天公司几乎无法在制造过程中弥补开发问题所造成的成本超支。与可以摊销数百万辆汽车的工程成本的汽车制造商不同，飞机公司最多只生产数千架飞机。这样相对较少的生产数量几乎没有留下余地来消化开发中的额外成本。因此，要实现尽可能顺利地进行面临着巨大的压力。

本白皮书讨论高效机电 CAD (ECAD-MCAD) 协同设计过程如何帮助设计团队消除飞机设计和制造过程中成本高昂的机电问题，最大限度地提高早期设计效率并最小化后续变更单对成本的影响。

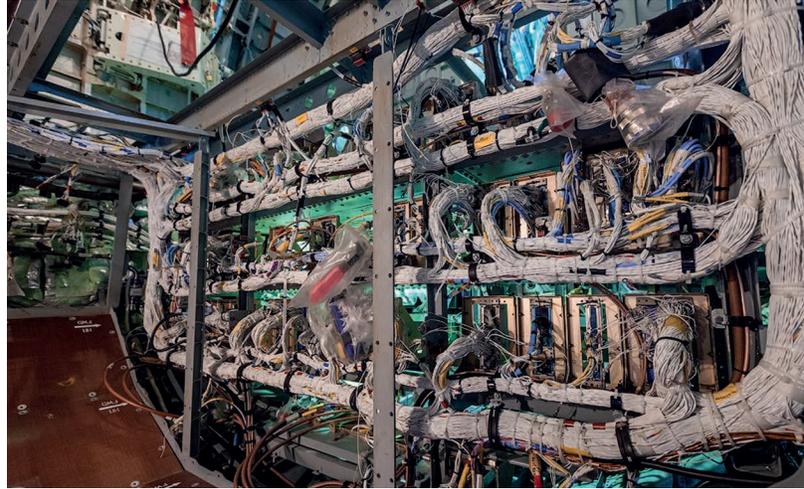


图 1：现代飞机具有极其复杂的电气布线互联系统

为什么要协同设计？

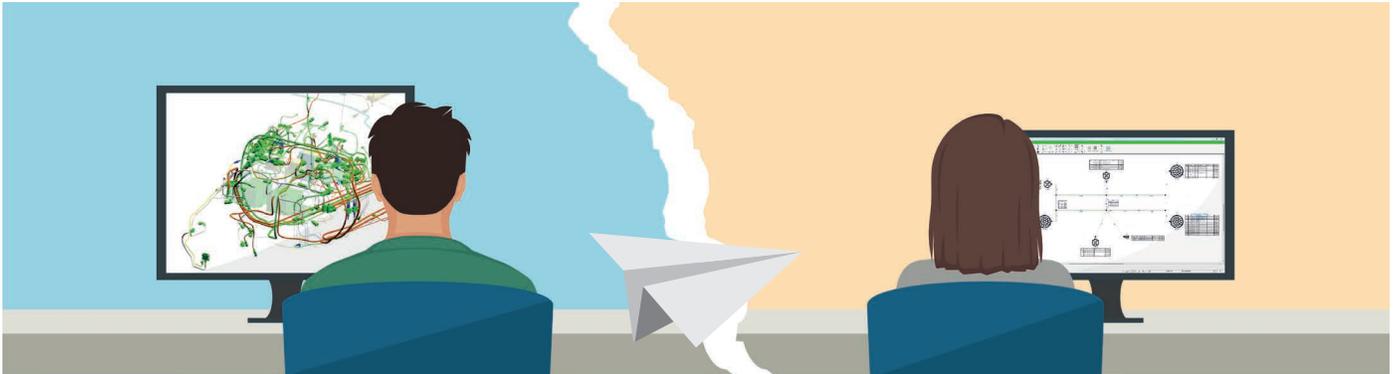


图 2：传统的电气和机械工程师分离模式会妨碍设计同步

为实现快速行动并达到项目里程碑，飞机设计团队面临着巨大的压力。因此，他们在将飞机设计放行到初始生产之前往往不倾向于进行额外的分析和验证。在这种情况下，某些难以察觉的错误并未被发现，从而可能导致严重的问题。例如，如果飞机制造商开发其商用飞机的军用衍生机型，重新设计的过程将非常快速而经济。如果电气和机械领域之间没有适当的通信，所做更改可能会无意中使设计违反 EWIS 要求。如果在进行关键设计评审之前未能检测到这些违规，制造商将需要数周甚至数月的时间来重新设计、重新检验、重新发布产品，以及随后对正在建造的每架飞机进行改造。这种错误的成本是非常高昂的，可能使项目、职业生涯、甚至公司处于危险境地。

鉴于机电复杂性影响的不断增加，公司该如何调整他们的飞机开发流程，才能在紧迫的时间里提供精准的设计？最佳策略是使用允许在整个设计过程中进行 ECAD 和 MCAD 设计数据的增量和数字交换的流程。增量数据交换可确保 ECAD 和 MCAD 平台表示中的相关多学科功能在设计中的每个点同步。这种持续性同步可在电气工程师和机械工程师之间建立稳定的沟通渠道，从而提高效率并减少设计错误。

ECAD-MCAD 协同存在很多潜在障碍。首先是电气和机械学科之间存在的传统分离（图 2）。电气和机械工程师通常使用完全不同的工具和术语。很多时候，他们处于不同的物理位置。

此外，机械和电气 CAD 系统表示同一物体结构的方式不同。MCAD 系统可能以实际物料清单的形式表示 LRU，例如螺丝、底板、印刷电路板和连接器。但是，同一模块的 ECAD 表示可能包括超越对象物理结构的功能图或原理图。某些电气功能可以映射到几个不同的印刷电路板和连接器，因此将单个功能与单个物理部件相关联是不切实际的。

由于上述原因和一些其他障碍，之前的协同努力只取得了有限的成功。早期的 ECAD-MCAD 协同工具使用了从便利贴注释、电子邮件到 Excel® 电子表格等各种方法。这些方法都显得牵强附会。因此，许多航空航天开发团队采用内部开发的协同软件和流程，每次推出底层 ECAD 和 MCAD 工具套件的新版本，他们都必须进行测试和检验。这些本地开发的软件和流程维护成本高，而且需要专门的内部支持。

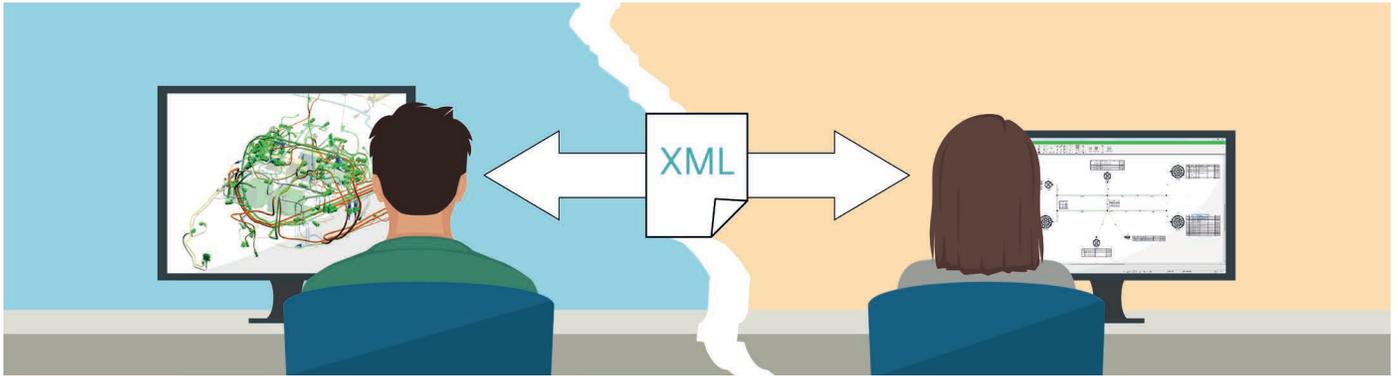


图 3：XML 帮助将传统上彼此孤立的 ECAD 和 MCAD 这两个领域联系在一起

XML 文件格式的开发有助于解决其中的一些挑战。XML 是一种用于存储数据的跨平台格式，这意味着许多不同类型的程序和机器，甚至人类都可以读取它。利用 XML，电气和机械设计人员可以直接在各自的设计环境之间传输数据，以弥合传统上存在于电气和机械领域之间的差异（图 3）。

由于其多用性，许多公司已经设计了自己的 XML 模式，以实现各种软件产品之间的互操作性。我们开发了 PLMXML 作为其 MCAD 工具、NX 和采用该格式的其他应用程序（如 Capital 电气套件）之间的通信方式。

通过 PLMXML 进行的 NX 和 Capital 集成使 ECAD 和 MCAD 设计能够在必要时同步，以确保设计兼容性，同时允许设计人员在其本地环境中进行操作。从较高的层面来看，Capital 和 NX 的设计流程可能如下所示：

1. ECAD 设计人员首先在 Capital 中创建接线和连接布局。此布局包括导线、连接器、多芯线和焊接点等关键部分。然后，设计人员将此导线数据导出给机械工程师。
2. 机械工程师导入 PLMXML 文件，NX 自动将电气数据链接到三维对象。然后，机械工程师可以通过平台布线，从而计算线束直径。一切就绪后，为 ECAD 设计人员导出包含这些渐进式更改的文件。
3. 然后，ECAD 设计人员导入此数据并对设计执行一些检查。设计人员可以使用 NX 的三维线长来执行电压降计算，并确保在机械设计中保留了足够的空间以适应布线束。可以根据需要更改数据，也可以向机械工程师回发新的增量文件。

此过程使设计人员能够定期以协同方式检验设计，防止空间或电气系统违规。但是，此方法仍需要手动导出和导入数据。ECAD 和 MCAD 这两个领域可以更紧密地集成以节省更多时间和成本。

XML 局限性

相较于传输 Excel 表或标记 PDF 文件以跟踪更改和保持设计意图的旧方法而言，通过 XML 将不同平台链接在一起无疑是一种改进。但是，由于工程师必须手动导出和导入 XML 数据，因此一个领域完成设计更改后，他们必须等待另一个领域的设计人员评审并接受或拒绝建议的更改。这会增加项目停工时间，延长开发过程。

这种集成度仅部分避开了 ECAD 和 MCAD 之间的障碍。在提出设计更改时，ECAD 和 MCAD 的设计人员只知道所做的更改对自己领域的影响。因此，在 Capital 环境中工作的设计人员提出的更改可能会导致空间或物理违规，而直到机械工程师评审并拒绝更改，该设计人员才会知道这一点。

真正的协同设计：交互显示

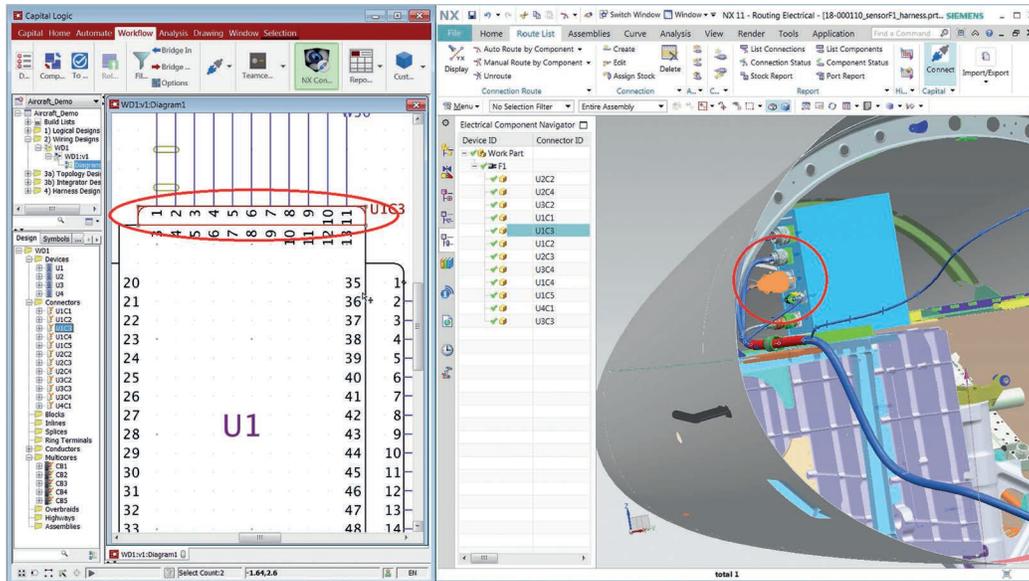


图 4：在电气逻辑设计（左）中选择一个连接器，然后会在 MCAD 工具（右）中自动突出显示

与现在相比，电气和机械设计流程可实现更大程度地连接、集成和协同。两个领域的工程师都能够使用来自另一领域的相关信息设计，双方的无缝交互显示可实现更紧密的集成和协同（图 4）。

这种集成的一个关键特性是取代 XML 方法繁琐的基于文件的交换。使用 XML 方法，集成依赖于文件系统中供其他工程师检索和导入的大量更改文件。Capital 和 NX 支持 API 级别的集成，在该集成中，两个领域直接连接，通过更改或新信息更新设计。工程师不再交换 XML 文件，而是通过强大的机制真正地在数据级别进行集成。例如，Capital 设计人员可以发布可供 NX 稍后无缝使用的布线物料清单。

通过这种集成，可以在明确了解危险区域（例如恶劣天气和易潮湿（湿地）区域）的情况下设计电气系统和线束，从而让 ECAD 设计人员在设计电气系统时考虑这些区域对电气性能的影响。机械方面而言，可以为线束预留空间并调整弯曲程度来考虑必须通过机械结构布线的线束。通过访问对方领域的此相关信息，电气和机械工程师可以快速协调 ECAD 和 MCAD 设计之间的不兼容之处。

举一个典型的例子，机械工程师希望确保包含所有必要导线的线束能通过分配的物理空间。机械工程师不希望 MCAD 模型中创建和管理这些导线，因为这既困难又耗时。相反，电气定义是在 Capital 中创建的。基于各种机械约束的最大允许线束直径已经与 Capital 共享。通过自动应用设计规则，Capital 即可确保由综合或交互布线组成的线束保持在机械设计人员指定的线束直径范围内。这样既确保设计的正确性，又能避免代价高昂的返工。

在过去几年中，飞机中的电气和电子内容不断增加，而可用空间则保持不变。机载娱乐系统的增加、机载无线互联网的引入以及电动操作系统的发展，都增加了在飞机上传输数据和供电所需的布线数量。设计人员在使用同样大小的物理空间以及保持强制要求的系统冗余和物理分隔时，必须应对电气化程度的这种提高。借助在两种环境之间的交互显示和交互可视化，设计人员能够在三维空间内了解布线，从而确定最优布线。

这种电子扩展将在未来继续。在多电飞机 (MEA) 概念的构想中，飞机将逐渐以电气方式运行更多系统，并最终包括推进系统。这种飞机用电气系统取代了各种系统的液压、气动和机械操作。预计 MEA 将提高效率并减轻飞机重量，从而在环境、财务和可靠性方面带来优势。然而，由于其庞大的电气系统将控制从机载娱乐到副翼和起落架驱动的一切事务，MEA 需要具备多层级的电气冗余。因此，随着线束规模和功能的增加，线束设计将接受更多的审查。

更改管理



图 5：该工装提供线束的全尺寸图，以帮助制造

现代飞机庞杂的复杂性会产生成千上万甚至数百万的权衡和变更单，影响着电缆长度、类型和物理布局。可靠的变更管理方法对于集成航空航天设计的电气和机械两方面至关重要。

机械设计根据线束的物理结构定义其弯曲半径约束。通过将这些弯曲半径约束传回 Capital，电气工程师即可使用这些信息来创建用于装配线束的工装（图 5）。利用 MCAD 的弯曲约束，如果工装工程师正在创建一个无法经济高效制造的模型，则 Capital 可以向其发送提醒。

即使在线束设计相对成熟之后，最新的设计和制造变更也会以不可预测的方式影响整个系统。客户规格要求以及供应商无法生产所需的部件均可能导致设计修改。例如，现代飞机配备了数百个传感器，用于监测天气和气压等外部

条件，以及机舱环境和燃料水平等内部条件。所有这些传感器都与线束相连，以存储和传输它们收集的信息。更换或移动这些传感器中的任何一个都可能为机械和电气设计带来多个变更单，并且随后需要进行成本、重量和功能验证。

在设计过程中，计算导线长度出错可能导致无法在飞机上连接 LRU 或者其他部件。线束完工之后，导线无法延伸到正确的长度，将导致重大的返工以及因解决问题而产生的成本。重新设计线束将产生数十个变更单，工程师必须尽可能快速准确地执行这些变更单，以便继续进行飞机的制造。

因此，变更管理的挑战在于如何快速高效地跟踪 ECAD-MCAD 跨领域变更。变更管理主要包括两个方面。首先是自动合并数据并将变更清楚地呈现给设计人员。Capital 配备了强大的变更管理工具，可自动创建设计变更清单(图 6)。

从该清单中，电气工程师可以选择单独接受或拒绝各个变更，而不是作为一整组变更来处理。Capital 的变更管理窗口还能够使用电气和机械设计进行实时交互显示。在变更管理工具中选择某个项目后，它将在 MCAD 或 ECAD 环境中自动突出显示，以帮助工程师了解所建议的更改。使用变更管理器还可通过平坦图预览一组变更。平坦方式可以是三维、正交或展开(图 7)。

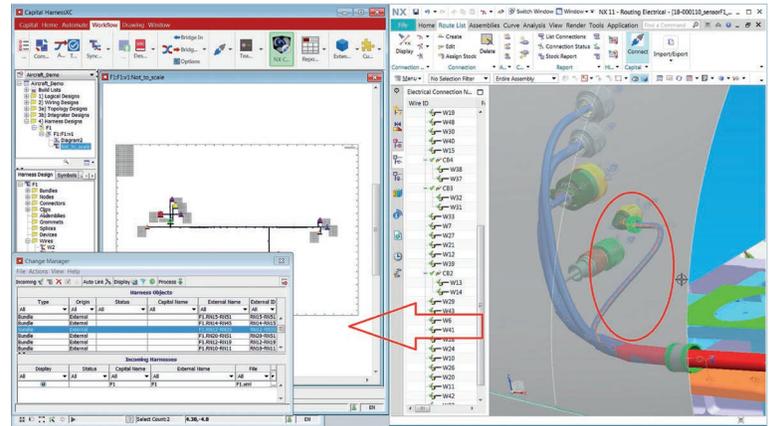


图 6：清晰显示通过 MCAD 工具输入的变化，供电气工程师查看

另一个关键部分是变更策略，该策略定义由电气设计还是机械设计控制数据以及变更的流动方向。Capital 拥有一系列可靠的选项，可用于自动控制数据变更方式。系统采用精细的方式确定数据的所有权，以便针对各个设计流程定制变更策略。可供选择的各部分非常详细，因此可以为各个部件的特定属性设置规则。例如，可以设置规则使 MCAD 仅能够更新连接器的重量属性，而不更新电气特性。

派生设计管理使变更管理进一步复杂化。飞机公司会根据客户的规格要求制造每架飞机，而飞机的机舱尤其如此。不同的航空公司将提供不同的娱乐选项和座位配置等等。因此，每个客户的飞机产品的线束设计都是独一无二的。这就需要一套用于线束派生设计的智能联合管理工具和数据库。该数据管理器必须智能地为机械和电气工程师提供与其领域相关的最新派生设计信息，而不必强迫任何一方适应另一方的数据库。

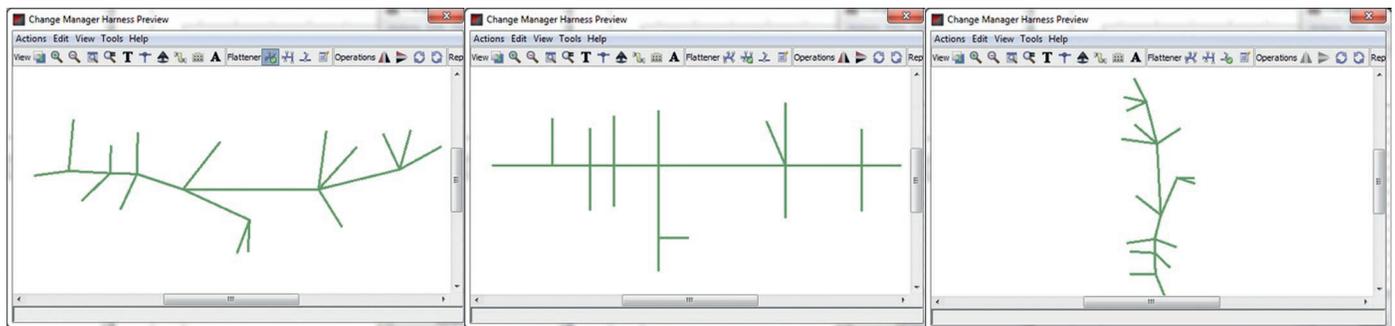


图 7：Capital 的变更管理器能够以三维、正交或展开平坦的方式显示预览。

展望：全电飞机和自主飞行

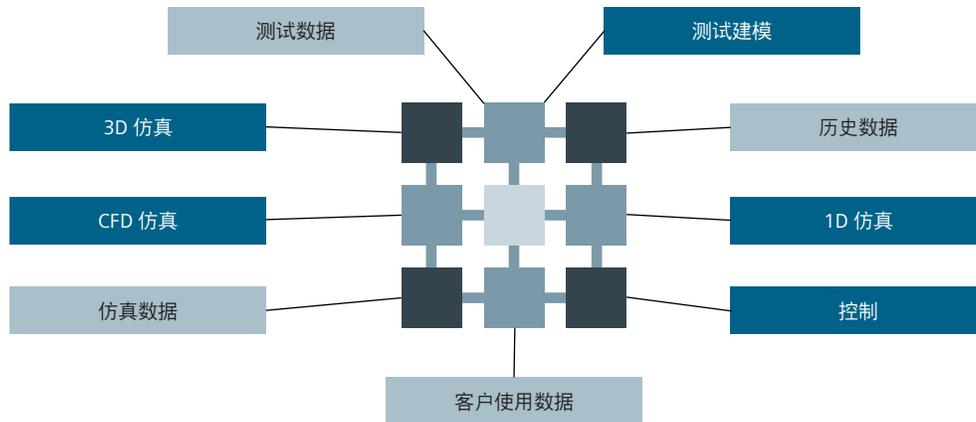


图 8：基于模型的系统工程方法可实现高级架构探索和设计优化

随着传感器、数据处理和机器学习技术的发展，完全的自主飞行即将成为现实。与此同时，部分航空公司正在努力获得单个飞行员操作的能力。单个飞行员操作将增加在监测方面对飞机自动化系统的依赖程度。这将需要对驾驶舱和底层系统进行重大的重新设计。仪表和监测器必须加以调整，以便单个飞行员可以轻松找到并读取关键飞行信息。单个飞行员还需要能够触及并操作驾驶舱中的所有开关、按钮和拨盘。由于人机界面发生改变，连接这些界面的电气布线也必须改变。通过 ECAD-MCAD 集成，设计人员能够针对单个驾驶员操作优化商用飞机的驾驶舱，同时确保电气系统符合更高的安全性和可靠性标准。

随着 ECAD 和 MCAD 两个领域之间集成度的增加，ECAD-MCAD 设计流程将逐渐实现真正基于模型的系统工程。这样工程师就能在设计过程的最初阶段进行强大的架构探索。如今，Capital 能够在功能和系统架构上实施权衡研究，然后在整个平台上进行优化。设计人员将能够检查数十种潜在的变化、布局和配置，同时运行数百种不同的分析以确定最佳配置（图 8）。

满足时间及预算成本

在过去十年中，技术进步和新市场需求导致飞机设计复杂性呈指数级增加。ECAD-MCAD 自动化协同设计可以提高效率，同时确保稳健的设计并降低质量成本。航空航天机械和电气设计人员现在能够更高效地同步他们的数据，并在关键设计项目上更有效地协同，从而确保正确实施设计意图。

基于模型的设计探索带来的可能性更加令人兴奋。通过自动化线束设计流程，工程师只需数分钟即可生成符合数百种设计约束的可选布线解决方案。因此，他们将通过改变约束并观察对重量、成本和性能的影响来探索数十种可选的布线配置。

在设计过程中，电气和机械环境之间的无缝交互显示有助于设计人员了解对方领域的情况，并能提供持续的跨领域决策评估。这样可以及早识别和解决不一致问题，从而减少代价高昂的设计迭代。ECAD-MCAD 协同设计具有丰富的变更管理功能，为设计团队实现项目里程碑提供了有力的支持，可确保项目按计划推进，同时最大限度降低成本。

Siemens Digital Industries Software

总部

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

美洲

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

欧洲

Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

亚太地区

Unit 901-902, 9/F
Tower B, Manulife Financial Centre
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong
Kowloon, Hong Kong
+852 2230 3333

关于 Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software 是 Siemens Digital Industries 的一个业务部门，其致力于推动行业数字化转型，为制造商实现创新创造新机遇，可谓是全球领先的软件解决方案供应商。总部位于美国得克萨斯州普莱诺市，在全球拥有超过 140,000 个客户，并与所有规模的企业协同工作，帮助他们转变将想法变成现实的方式、产品实现方式以及使用和了解运行中产品和资产的方式。有关产品和服务的详细信息，请访问 [siemens.com/plm](https://www.siemens.com/plm)。

[siemens.com.cn/plm](https://www.siemens.com.cn/plm)

© 2019 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Siemens 和 Siemens 徽标是 Siemens AG 的注册商标。Femap、HEEDS、Simcenter、Simcenter 3D、Simcenter Amesim、Simcenter FLOEFD、Simcenter Flomaster、Simcenter Flotherm、Simcenter MAGNET、Simcenter Motorsolve、Simcenter Samcef、Simcenter SCADAS、Simcenter STAR-CCM+、Simcenter Soundbrush、Simcenter Sound Camera、Simcenter Testlab、Simcenter Testxpress 和 STAR-CD 是 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.、其子公司或其附属公司在美国和其他国家/地区的商标或注册商标。所有其他商标、注册商标或服务标记均属于其各自持有方。
77780-81605-C7-ZH 2/20 LOC