

图2 流路修改

用的自主软件，并没有集成非自主的商业软件，进而在集成方式上可以做到简单易于实现。

第三，该系统是基于服务器的运行模式，正如前面所说的C/S模式，不是单机版，每个用户面对的界面只是一个客户端。服务器管理着所有设计程序，通过客户端调用这些程序并在客户端上执行，进而开展各项设计活动；客户端可以处理本地数据，开展输入数据的修改、输出数据的查看等。因此，该系统实现了专业内设计程序的统一管理，保证了设计工具的规范性和唯一性。

编辑两种方式查看。对文本格式较熟悉的用户可以根据程序说明书直接在文本上修改数据。对于分布曲线类的的数据，更适合利用界面来编辑。图2显示了对流路曲线的修改。在右键菜单里选择“拖拽编辑”后，就可以直接点击流路以及前尾缘的控制点进行调整；还可以通过双击控制点，在弹出的对话框中直接修改控制点坐标，进而更精确地控制流路。

这种拖拽编辑还应用于其他输入曲线的的数据调整，例如，各排转子/静子叶片的压比、气流角等的径向分布曲线。在拖拽曲线时，坐标表格里

的数字也会随之改变，当然也可以更精确地直接修改表格内的数字，然后通过右图的曲线形状判断是否达到所需的分布形式，如图3所示。

对于非曲线形式的输入数据，在界面上除了参数框前面的说明外，还加入了浮动提示的功能，如图4所示。打开浮动提示按钮后，将鼠标移动到某个参数框处，会出现更详细的要求或说明，对于有些参数还会给出建议的取值范围。这些详细的说明来自说明书、指导书及规范，是这些指导性文件更直接的一种应用方式。在设计过程中遇到问题时，还可以参考系统里集成的各类指导性文件，直接点击打开查阅。

准备好输入数据，就可以开展相应的设计计算。只需双击对应的设计程序，服务器上的计算程序就会在请求的客户端上执行，充分利用客户端的计算资源，而不会占用服务器的计算资源。程序运行中的一些信息会在信息栏显示。随着设计技术的不断进步和完善，一旦设计

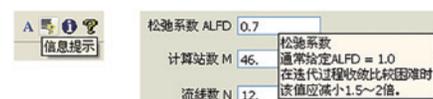


图4 界面数据的信息提示

压气机气动设计系统平台在三级风扇设计中的应用

下面以一个三级风扇的S2流场设计为例，介绍利用气动设计系统平台开展风扇/压气机设计的过程。该三级风扇具有较高的负荷水平，各项指标要求高，设计难度较大，设计中参考以往型号的设计方案，依据设计流程开展设计。根据一维设计结果，参考模板文件，准备输入文件。输入文件可以通过文本编辑和界面

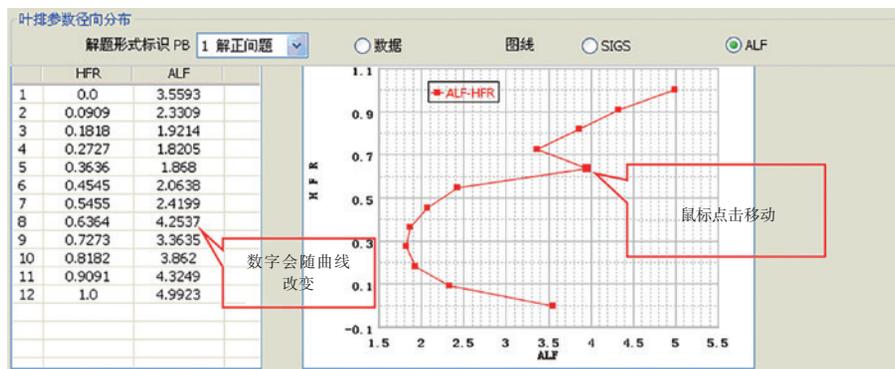


图3 静子叶片出口角度分布曲线修改

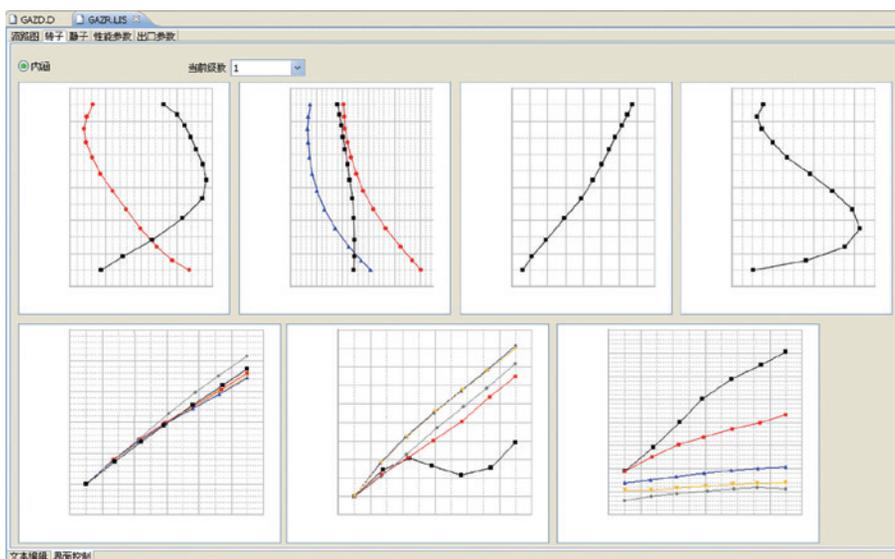


图5 流场计算输出的界面曲线

计程序有更新，服务器端程序替换后，可以保证所有客户端都能使用最新的程序，确保专业内设计方法的统一规范。

程序计算结束后，可以查看结果文件。同样也是可以通过文本编辑和界面控制两种方式查看。文本方式给出了完整的输出数据，界面方式则以曲线的形式给出各类参数的分布情况，如图5所示。当然，也需要遵照规范、参考专家经验，对计算结果进行评判，并通过分析对设计输入的相关参数进行调整，开展新一轮的计算。对于关键的设计活动，往往要经历上百轮的调整，获得最佳的方案或者最合适的方案。

系统方案有固定的模块结构，进而模块间的数据可以实现自动传递，上游程序的输出可以直接为下游程序提供输入。这种自动的数据传递使得采用系统平台的设计过程变得完整统一，并大幅度提高了工作效率。除了自动的数据传递，系统还提供了接口程序NFTU，可以根据需要将设计数据转换成对应的格式

提供给商业软件等程序及其他专业，例如，结构、强度等开展后面的设计和分析。这些自动化的处理过程可以彻底消除人为处理时可能产生的错误，保证数据处理的正确性。

通过设计系统的集成，设计工作的效率得到大幅度的提升，早期经过测算表明，仅在S2流场计算数据前后处理方面就节省了40%以上的时间。

设计系统的不断改进和完善

随着需求的不断提高以及技术的不断进步，设计系统也在不断发展和完善。在系统界面上，为了适应不断地修改，更快捷地实现系统集成，在程序树上设置了自建平台，省去了信息化人员的参与，可以由设计专业的系统管理员直接在自建平台上挂接新版本的设计程序，实现快速的集成和应用。同时，界面系统的升级也更新了曲线图形的显示，使得曲线和刻度更加清晰易于辨识。

新的设计技术也在系统上得到体现。例如，在叶片造型设计上，

从早期的常规叶型，已增加了多种可控扩散叶型的造型手段，实现了椭圆形前缘的设计，完善了可变弯曲度导向器的设计程序。并且，根据高负荷风扇/压气机设计的需要，增加了大小叶片、串列叶片等新的设计技术。

设计系统平台未来的建设方向

随着“以信息化促进工业化”的国家信息化发展战略的深入推进，随着中国航发集团AEOS工程的深化开展，设计体系建设越来越得到重视并进入快速发展阶段。同时，随着信息化技术水平的不断提高，设计系统的能力也将得到大幅度的提升。

从当前大数据时代的信息化发展方向来看，未来的设计系统将会朝着系统化、知识化、智能化的方向发展。系统化是指从当前以部件或专业为主的设计系统发展成为从整个发动机全局出发，完整考虑跨专业协同设计，考虑从设计到加工、保障等全流程设计，建立统筹全局的完整的航空发动机和燃气轮机研发系统。知识化是指设计过程中知识辅助的能力大幅提高，将以往在设计、排故中总结出的经验等隐形知识进行显性化，能够在设计中通过推送等形式支持设计，进而保证设计质量，提高设计成功的可行性。智能化是指未来设计中人工智能的成分会越来越多，在大数据的支持下，通过数据挖掘、总结和提炼，形成智能化代理模型，进而实现发动机的多学科设计优化，并在专家的逐渐介入修正中，通过机器学习，进而实现发动机的智能化设计。

因此，为了适应航空发动机行业设计信息化的发展，需要尽快开展以

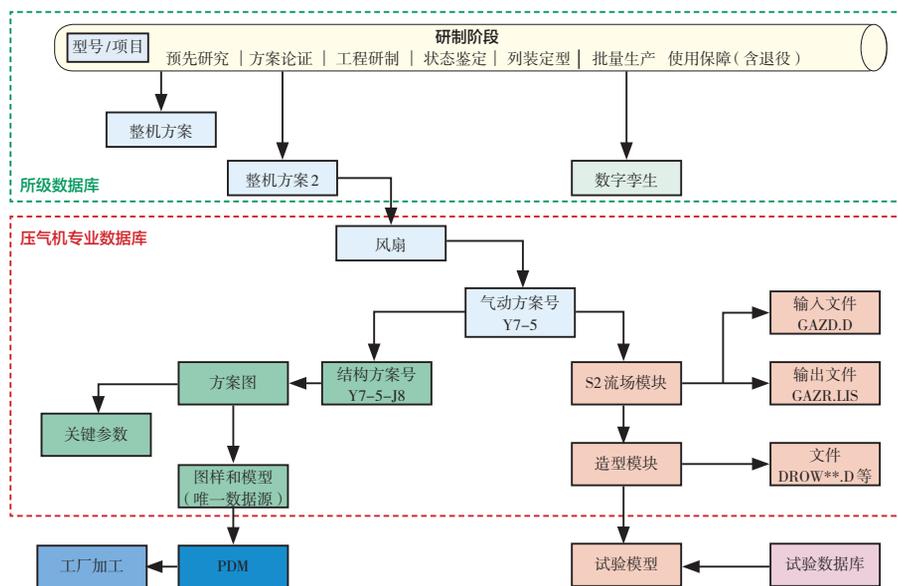


图6 涵盖全生命周期及各专业的研发数据库架构

下一些工作。

首先是需要建立统一的设计数据库。大数据的积累是未来设计系统实现系统化、知识化、智能化的基础。所建立的设计数据库需涵盖发动机研制的全生命周期，覆盖设计的各个专业，包含各类设计的过程数据和产品数据，可能涉及多种类型的数据文件。初步的架构设计（见图6）及数据组织模式可以按如下思路开展。数据库按照项目全生命周期进行组织，从整机方案，分解到部件及专业，按照设计活动组织不同设计模块的数据，同时还可以建立与相关其他专业的联系。数据库的数据结构可以采用基于XML类型的自解析形式，同时保存原始文件。XML格式数据的自解析优势有利于不同类型数据文件的统一管理，并可以清晰地表达从数据库顶层一直到底层数据的详细结构。统一数据库的建立，不仅要包含气动专业程序产生的数据，还要包含结构设计的关键参数，进而有利于各类经验的显性化和经验总结。数据库应作为唯一

数据源实现专业间的协同设计，作为积累各类数据的平台将设计与生产、保障联系在一起，为未来数字孪生的建立打下基础。

其次，不断完善集成设计系统平台。集成设计平台作为设计员直接面对的设计工具，在设计中将发挥越来越重要的作用。系统平台的作用是将各类数据库、知识、资源等与设计员连接在一起。未来系统平台的特征体现在：自动化程度大幅度提高，知识化推送能力增强，规范化的软件版本管理，个性化的配置风格，简易化的平台改进模式。设计流程中，成熟的设计活动或模块、数据转换等能自动化处理的，均应实现自动化；设计过程中，根据所开展的工作，系统可自动推送相关知识点，包含规范、指导书（含设计检查单、以往故障）等，辅助设计活动顺利开展；新的设计按要求使用最新版本的程序，早期的方案也可通过调用早期版本程序实现复现，各版程序得到有效控制；设计系统的界面配置等可根据用户当前设计

阶段、模块按照用户需求进行个性化调整，进而提高工作效率；系统具备特别简易的改进模式，小的改动不需要信息化专业人员的参与，可由设计专业管理员利用简单的工具完成，使得系统长期保持活力。

最后，开展智能化多学科设计优化技术研究。设计智能化也许不再遥远，对于复杂的航空发动机设计，也许会在某些小的设计活动中成为现实。在不远的将来，从系统级角度出发，借助大数据支持，在专家系统的参与和不断完善下，多学科设计优化可能会发挥出越来越大的效果，进而从系统层面实现发动机性能水平的综合最优。

结束语

本文介绍了中国航发动力所压气机设计体系建设情况，重点描述了气动设计系统集成平台的特点，并以三级风扇设计为例介绍了系统平台的应用情况，最后论述了设计系统未来的发展方向，结论如下：第一，设计体系是研究所核心设计能力的集中体现，应该坚持边建边用，边用边完善的原则；第二，压气机专业气动设计系统平台建成后得到了很好的应用，并在风扇压气机设计中发挥了重要的作用，提高了工作效率，保障了设计的规范性；第三，未来的设计系统将朝着系统化、知识化、智能化的方向发展，应尽快着手在数据库、系统平台、智能化设计等方向开展研究。

航空动力

（杨琳，中国航发动力所，研究员，主要从事压气机专业体系建设，风扇压气机气动设计，叶轮机复杂流动研究，流固声跨学科耦合分析等工作）