

# CFD 通用符号系统

## 综述和入门

前言.....	2
1 目的与范围.....	2
2 概述.....	3
3 系统构成和相关文献.....	4
3.1 ADF 文件和 ADF 核心库.....	4
3.2 标准接口数据结构.....	5
3.3 SIDS 与 ADF 文件映象.....	5
3.4 中级程序库，或 API.....	7
3.5 相关文献.....	8
4 应用软件.....	9
4.1 可与 CGNS 兼容的应用程序.....	9
4.2 CGNS 应用程序.....	11
5 获取 CGNS.....	11
5.1 软件.....	11
5.2 文献.....	12
6 历史与现状.....	12
6.1 早期发展.....	12
6.2 后续开发活动.....	15
6.3 现状.....	15
6.4 重要贡献.....	16

# 前言

本文介绍了 CFD 通用符号系统 (CGNS) 的结构, 软件和有关文档。综述主要是为 CGNS 的新用户和未来用户编写的, 主要介绍了: (1) 术语; (2) 系统的构成及其关系; (3) 各种文档。阅读目的 (第 1 部分) 和 “概述” (第 2 部分) 有助于用户确定 CGNS 能否满足他们的需求。详细信息见第 3 部分, 介绍了 CGNS 的构成。对于只想了解 CGNS 的能力和范围的用户, 或不关心系统内部工作的最终用户, 综述部分可以为他们提供更多的文献信息。

综述部分还包括一些到文档记录日期为止的当前信息, 但可能随着时间而改变。有关 CGNS 兼容 “应用” 软件的所有信息 (即外部程序, 如网格生成器, 流场解算器或第 4 部分中的后置处理器等) 都是这一类型的信息。第 5 部分中有关软件和文献获取的信息以及第 6 部分中 CGNS 当前状况, 也会发生改变。

## 1 目的与范围

CGNS 的一般目的是为记录并恢复与流体动力学方程的数值解有关的计算机数据提供标准。

CGNS 包括一系列惯例 (或约定), 以及为存储和检索 CFD (计算流体动力学) 数据而执行这些惯例的软件。此系统包括两部分: (1) 记录数据的标准格式; (2) 以该格式阅读、编写和修改数据的软件。这种格式是根据文件建立起来的概念性实体, 目的是通用、方便、可扩展、耐用。软件为实际产品, 开发人员能够存取并生成以这种格式记录的数据。所有 CGNS 软件都是免费的, 并对任何用户开放。

CGNS 标准通过利用供给的软件而得到应用, 目的如下:

- 简化 CFD 数据交换
  - 两个站点之间
  - 两个应用程序之间
  - 跨越计算平台
- 使 CFD 数据的归档稳定化

CGNS 的主要目标是处理通常与可压缩粘性流 (即 Navier-Stokes 方程) 有关的数据, 但该标准也可以用于 Euler 方程和位势流这样的小类。CGNS 标准适用下列类型的数据:

- 结构网格、非结构网格、混合网格;
- 流动解数据, 可能是节点型、单元-中心型、面-中心型数据或边缘-中心型数据
- 多块接口连接性, 邻接和重叠两种
- 边界条件
- 流动方程描述, 包括状态方程, 粘性与热传导模型, 湍流模型和多种物质化学模型
- 时间相关流动, 包括运动网格和变形网格
- 量纲单位和无量纲信息
- 参考状态
- 收敛历程
- 与 CAD 几何形状的定义结合

大部分标准和软件一般都可用于计算领域的物理结构。将需要多种学科而不是流体动力学来扩展数据定义和存储习惯，但独立提供平台的基本数据库软件并非流体动力学所专有。

## 2 概述

CGNS 数据库描述了一个或多个 CFD 问题的当前状态，包括：

- 网格；
- 流场；
- 边界条件；
- 拓扑连接信息；
- 辅助数据（如无量纲化参数，参考状态）。

在任何特定时间，并非所有这些数据都需要给出。总的观点认为，通过为 CFD 所共有的各种软件工具，如解算器、网格生成器、流场显示器和后置处理器，可以存取共享数据库。每一种“应用”软件都可作为一个数据编辑器，根据应用程序的特定作用添加、修改或解释。

CGNS 惯例和软件保证完整且灵活地记录对问题的描述。例如，如果需要，就可以十分详细地描述亚声速内流边界条件的确切含义。几乎任何地方都可以包括用户注释，例如，为日期印签或随时间变化的信息提供机会。维数和大小信息需要仔细确定。使用或不使用标准名称记录任何数量的流动变量，也可能添加用户确定的或站点专用的数据。如果需要，这些特点可为应用程序完成大规模的错误检测提供机会。

由于具备这种通用性，CGNS 保证比当前通常采用的应用程序能够记录多得多的描述信息。然而，这种数据的结构是分层的，因此多数可选择。在不改变概念或概念稍作改变的情况下，将大多数当前的应用程序转化成 CGNS 应该是切实可行的，因为这保留了可选方案，以便利用更详细的描述。

目前，CGNS 的技术要求包括大部分的 CFD 数据，用户希望在站点或应用程序之间交换这种数据：例如，几乎任何类型的流场数据都可以记录下来，然后，根据数据名称，任何需要它的程序都可以找到并了解它。可以规定整体数据（如自由流马赫数、雷诺数、攻角）和物理模型细则（如薄层假设、湍流模型）。然而，目前在 CGNS 中对于个别应用程序还没有特定说明。通常，给出了操作说明，如扫描次数、求解方法、多网格指令，等等。由于数据有各种各样的特性，目前还没有尝试过用总体标准进行数据整理。因此，可以预见，很多应用程序仍然需要用户生成的小型输入文件，可能采用 ASCII 格式。

CGNS 本身并不发起什么行为，或完成通常由操作系统处理的任何功能。用户根据现有的方法仍然完成了 CFD 的计算任务，这包括选择计算平台、维护文件和启用应该软件。

然而，CGNS 为应用程序之间的交流提供了便利，这种便利应该能够为方便应用 CFD 工具促进新型的成批和交互式机制的发展。

### 3 系统构成和相关文献

CGNS 关心的是记录和检索与流体流动的计算相关的数据，包括网格结构、流场、边界条件和块连接性信息。CGNS 在这种意义上来“理解”这种数据，即它包含了根据数据结构及其在 CFD 中的作用来记录数据的习惯。

CGNS 的基础设计是通用数据库的设计，此数据库通过一批“应用”程序如解算器、网格生成器和后置处理器等进行存取（阅读、编写或修改）。

CGNS 本身并不能合成、修改或解释它所存储的数据。应用程序生成、编辑或显示数据；CGNS 仅限于记录和检索数据。每个应用程序利用由研究人员在应该中安装的 CGNS 函数调用直接存取数据。并不认为应用程序是 CGNS 本身的一部分。

CGNS 是被动的。它并不发起什么行为，既不会把信息“输入”到应用程序中，也不会从中“提取”信息。相反，程序必须请求它们搜索到的信息，并存储它们产生的信息。应用程序必须通过编制数据库位置和内容的内容的用户启用。这一过程和系列行为都由用户控制。因此，CGNS 简化了（但不包括）用来控制 CFD 过程的成批或交互式环境的发展。

CGNS 的各构成部分完成所有的活动，这些活动与数据存储在外部分介质上及其与应用程序之间的传输有关。这些构成部分包括：

- ADF（高级数据格式）数据库管理器，包括文件格式规格及其 I/O 软件，它处理外部存储介质往来的数据的实际阅读和编写。
- 标准接口数据结构（SIDS），它规定 CFD 数据的智能存储信息以及指导命名和术语的一些惯例。
- SID-to-ADF 文件映像惯例，它规定 SIDS 确定的 CFD 数据存储在 ADF 文件中的确切位置。

ADF 数据库管理器提供了很小部分的数据存取功能，我们把这部分称为“ADF 核心库”。原则上，只利用 ADF 核心库的程序就可以将 CGNS I/O 装入应用程序中。然而，这种方案会要求安装者以非常低的级别存取数据，并将导致出现冗长的核心函数调用。因此，该系统还包括一个中级程序库和一个 API（应用程序接口），API 包含了另外的程序，用来简化对数据的高级存取。这些均为有 CFD 知识的程序，适合直接安装在应用程序中。

下面详细讨论 CGNS 各个构成部分的作用，并介绍与之相关的文献。。

#### 3.1 ADF 文件和 ADF 核心库

ADF（高级数据格式），其软件执行称为 ADF 核心库，包括一个特别适合于存储大型数值数据组的非常通用的数据库管理器。ADF 核心库包括一套对含有 ADF 文件的数据库进行标准操作的程序。典型的操作有打开、关闭、创建、删除、阅读和编写。

根据定义，ADF 文件是一种 ADF 核心库程序编写的文件。ADF 文件以完全由核心库程序确定的二进制格式写入外部介质上。用这种方法，保证了文件的可移植性。因此，除非采用核心库程序，否则文件内容是不可存取的。核心库程序是内部生成的，不包括可为用户服务的部分，也不应该被修改。

这种独立设计的存储系统的主要优点是可移植性、数据的完整性和文件有可能自我识别。ADF 核心库程序总是能够打开并阅读 ADF 文件，而不管文件的出处和特殊内容。ADF 的普遍可利用性也是一个重要特征，它是其非专有性的结果。



所有的 ADF 核心库程序都由 C 语言编写，但要提供 C 语言和 Fortran 语言函数调用。核心库程序仅提供存取数据库所需要的最小部分的功能。

ADF 文件的概念形式为树型，其每个节点具有相同的内部结构。每个节点都包含以下几部分：

- 识别信息
- 子节点指示字
- 节点处记录的任何数据的描述符
- 数据本身

选择该格式存储科技数据，但 ADF 系统通常可用来存储各种类型的信息。ADF 文件的技术要求中没有关于 CFD 相关信息的数据类型的限制。

## 3.2 标准接口数据结构

CFD 相关信息存储标准的确立，要求详细说明存储数据的内容和含义。例如，有必要以非常具体的形式说明“边界条件”一词的含义，以便于准确记录，然而又要足够灵活，以包含当前和未来的操作。“标准接口数据结构”文档详细介绍了 CFD 相关数据的“智能内容”。

确切描述智能内容不仅是确定数据的准确形式的需要，而且也是保证操作者始终如一地解释数据含义的需要。因此，SIDS 包括一套确定术语确切含义的命名惯例（例如，字符串 DensityStatic 和 BCWallviscous）。

SIDS 用自身包含的类似 C 语言的描述语言编写。SIDS 数据结构以层次方式确定，采用这种方式，可以根据较简单的实体建立更复杂的实体。这些结构集中反映在与符合 CGNS 的 ADF 文件中：简单实体通常存储在单节点中，而复杂结构存储在整个子树型节点中。

## 3.3 SIDS 与 ADF 文件映象

### 3.3.1 通用的文件映象法则

由于 ADF 树型结构的通用性，因而有许多可能的办法来编译 ADF 中的 CFD 数据。但对于任何存取应用来说，例如“Under Wing”块的边界条件，关于数据在文件中的存储位置只需要一个约定。《SIDS-to-ADF 文件映象》文档中（有时称“文件映象”）建立了明确的 ADF 节点，以及每一条 CGNS 数据应该记录在节点中的具体位置。CGNS 中级程序库依赖于文件映象来确定文件中的 CFD 相关数据。

映象为大量的 CFD 数据提供 ADF 位置。多数应用程序将只利用该数据中的一小套数据。此外，由于应用程序被看作是数据库建立过程中的编辑器，因此它们大多数用于不完整的数据组。所以，为使数据库符合 CGNS，并不要求 CGNS 惯例规定的所有数据元都是完整的。用户必须保证数据库的当前状态支持他可能启用的任何应用程序。当然，应用程序应该适当地处理任何缺位数据或无效数据。

CGNS 惯例对下列各项没有做出规定：

- 应用程序可能对数据的利用；
- 应用程序修改数据的方式；
- 数据内部存储到应用程序的格式。

数据的有效性、精确性、完整性均由应用软件来确定。

ADF 的树型结构使应用程序可能忽略那些用不着的数据。(实际上, 如果不采用特殊的查询, 应用程序甚至发现不了数据的存在)。因此, 对含有 CGNS 数据库的 ADF 文件, 允许包括未被文件映像规定的其他 ADF 节点。这样的节点会被不准备利用它们的软件所忽略。然而, 如果对 CFD 过程来说必不可少的数据以与 CGNS 惯例不一致的方式存储, 那么这些数据就会变成不可视数据, 从而对其他应用程序来说会变得无用。

注意, SIDS 不仅用来使数据映像成 ADF 文件结构的过程简化, 而且用来使所记录数据的含义标准化。于是, 在 CGNS 中有两种惯例。遵守文件映像惯例, 保证软件能够发现和阅读数据; 遵守 SIDS, 保证在各用户之间以及两个应用程序之间含义的一致性。《SIDS-to-ADF 文件映像》文档确定了 ADF 在 CGNS 中的应用; SIDS 确定了所存储数据的术语、内容和含义。

通常, 文件映像避免了冗余数据的存储。有时一项应用也许需要数据的替换格式(但在智能上相同); 在这种情形下, 建议在应用时准备好替换格式, 并与 CGNS 数据保持分离。这样就避免了对替换格式的习惯性依赖, 这种依赖会使标准无效。如果替换格式附加到文件上, 那么无论何时进行永久性改变, 都必须注意更新基本的(CGNS)格式。

### 3.3.2 ADF 文件和 ADF 节点的结构

进一步描述文件映像, 要求对 ADF 文件的内部结构有所了解。本文概述了在 CGNS 中采用时的结构。《SIDS-to-ADF 文件映像》文档完整地描述了在 CGNS 中采用时的 ADF 文件的结构。《ADF 用户指南》完整地描述了不考虑在 CGNS 中采用时的 ADF 文件的结构。

ADF 文件包括一组称为节点的单元, 这些节点排列成树型结构, 此结构逻辑上类似于 UNIX 文件系统。根据下列简单规则, 认为节点以“母子”关系连接:

- (1) 每一个节点可能带有任意数量的子节点;
- (2) 除根节点外, 每个节点均为另一个确切节点的子节点, 称其为母节点;
- (3) 根节点没有“母节点”。

ADF 文件中的每一个节点有着完全相同的内部结构。与每个节点相关的实体如下:

- 节点识别器 (ID)
- 名称
- 标示
- 数据类型
- 量纲
- 量纲值
- 数据
- 子节点列表

**节点识别器** 节点 ID 是 ADF 文件打开或创建时系统分配的浮点数。应用程序可能记录了 ID, 并在需要时利用 ID 直接返回对应的节点。节点 ID 只有在文件打开时才有效; 同一文件一系列的打开操作可能产生不同的 ID。

**名称** 名称区有一个由用户选择或由 SIDS 规定的字符串, 用以确定正在被记录的特定数据。

**标示** 标示也是一个字符串, 由 CGNS 转换惯例规定, 用以确定正在记录的数据的种类。例如, 带有标示 `Zone_t` 的节点可能记录(在该处或其下)名为“UnderWing”的块的信息。任何节点都不能有具有相同名称的多个子节点, 这是 ADF 的一条通用规则, 但 CGNS 转换惯例通常规定具有相同标示的多个子节点。对于有些节点, 转换惯例规定, 名称区对数据的含义很重要(如 `EnthalpyStagnation`)。虽然用户可以规定其他的名称, 但这些“书面”惯例为用户之间和应用程序之间的数据传输提供服务。这些命名及其含义由 SIDS 确立。

**数据类型、量纲、量纲值、数据** ADF 节点可能包括也可能不包括数据。对包括数据的节

点, CGNS 规定了单个数据组, 其类型 (整数等)、量纲和大小分别记录在数据类型、量纲、量纲值区域内。映象惯例规定了这样一些节点, 它们用来确立树型结构, 并指向下一数据, 但它们本身不包含数据。对于这些节点, 数据类型为 MT, 其他区域为空。

**子节点列表** 子节点列表包括一系列子节点。当子节点创建和删除时, 该列表由系统维护, 其在 CGNS 中的作用与在 ADF 中基本相同。

### 3.3.3 CGNS 数据库的高级结构

对于 ADF 文件中 CFD 数据位置的详细规定, 用户可参考《SIDS-to-ADF 文件映象》文档。为方便起见, 下面对 CGNS 数据库的高级结构作一概述。

CGNS 数据库包含树型节点, 作为一个或多个 ADF 文件的所有或部分来执行。所有信息的确认和存取都通过其中一个文件中的单个节点进行。因此, 没有 CGNS 文件的概念, 而只有一个或多个 ADF 文件中执行的 CGNS 数据库的概念。

根据定义, CGNS 数据库的根节点标示为 CGNSBase\_t。数据库的名称可由用户规定, 并存储在 CGNSBase\_t 节点的“名称”区内。注意, 这是 CGNS 数据库的根, 而不是 ADF 文件的根节点。本 CGNS 惯例要求, CGNSBase\_t 节点应该直接位于 ADF 根节点之下。

ADF 文件可能包含多个 CGNS 数据库, 因此有多个 CGNSBase\_t 节点。然而, 单个 ADF 文件中标有 CGNSBase\_t 的每个节点都必须有唯一的名称。用户或应用程序必须知道含有初级节点的 ADF 文件的名称, 而如果该文件中有多个标有 CGNSBase\_t 的节点, 也必须知道数据库的命名。

在 CGNSBase\_t 节点下, 映象惯例为每个块确定了子节点。这种节点标示为 Zone\_t。其名称表示特定块, 该块的特征记录在该节点处或之下, 例如“UnderWing”。通常, 名称可由用户定义, 但对用户没有选择命名的节点规定了缺省值。对于 Zone\_t 节点, 按照创建顺序, 缺省名为 zone1、zone2, 依次类推。缺省名的类似惯例可应用到其他地方。在 ADF 内, 不可能创建没有名称 (或名称长度为零) 的节点。CGNS 中级程序库遵守缺省惯例。

在每个块的节点之下, 会发现用于网格、流场、边界条件和连接性信息的节点; 这些节点反过来又是规定宽度、空间位置等的“母节点”。

文件映象规定, 一个或多个“描述符”节点可以插入文件的任何位置。描述符节点用来记录关于文件内容的文字结构信息。描述符节点的大小不受限制, 因此, 如果需要, 整个文档都可以在数据区内命名并存储。描述符用于存储人工可读的文本, 没有经过任何提供的 ADF 或 CGNS 软件的处理 (当然, 除了可能存储和检索文本之外)。

利用 CGNS 的链接能力, 任何节点的子节点都可能成为在另一个 ADF 文件中的节点, 或同一文件其他部分的节点。这种方法可以在不复制信息的情况下, 使一个数据库与另一个数据库共用一个网格。

## 3.4 中级程序库, 或 API

CGNS 中级程序库, 或应用程序接口 (API) 是 CGNS 中最直接可见的部分之一, 是应用程序开发人员尤其感兴趣的部分。它包括一套程序, 根据 CFD 中数据的作用允许应用程序存取 CGNS 数据。与 ADF 核心库不同, CGNS 中级程序库中的程序“理解”SIDS 确定的 CFD 数据结构和文件映象。这使得应用开发人员能够在没有详细了解 ADF 和文件映象的情况下, 将 CGNS I/O 插入到应用程序中。例如, 一个应用程序可能利用 CGNS 中级调用来检索给定块的所有边界条件。

《CGNS 中级程序库》文档对所有的中级程序进行了完整的介绍和使用说明。与 ADF 核心库相同, 所有调用均以 C 语言和 Fortran 语言提供。



### 3.5 相关文献

上面介绍的 CGNS 的 4 个组成部分，各自由以下 4 份文献提供说明：

《ADF 用户指南》

《标准接口数据结构》

《SIDS-to-ADF 文件映象手册》

《中级程序库》

此外，还要提及下列文献：

CGNS 综述与入门（即本文）

“CGNS 系统”，AIAA Paper 98-3007

“用于空气动力学与 CFD 的 CGNS 数据库标准的进展”，AIAA Paper 2000-0681

“CGNS 通用符号系统 (CGNS)：现状与未来发展方向”，AIAA Paper 2002-0752

这些特定文献随着 CGNS 想要使用的水平而变化。

#### 3.5.1 未来用户

假设未来用户不熟悉 CGNS。他们多半希望从本综述开始，或者，如果需要更详细的信息，可从上述 AIAA 文章中获得。此外，大多数未来用户会找到一种快速阅读的方法，重点是 CGNS 本身，将建立起对系统的某种感性认识。《CGNS 用户指南》和《CGNS 中级程序库》文档，会指出在给定应用中执行 CGNS 可能需要什么。未来用户很可能不关注 ADF 的详细内容。

#### 3.5.2 终端用户

终端用户是 CFD 的实践者。他们生成网格，流场解算器和/或分析结果。对于这种用户，浏览本综述就足以解释系统的全部工作。这包括终端用户对不受 CGNS 控制的事物负责，如文件和目录的维护。终端用户会找到《CGNS 用户指南》的有用部分，以及处理标准数据名称的 SIDS 中的那些部分。如果需要详细了解 CGNS 的能力，上述 AIAA 文献可能有用。

#### 3.5.3 应用程序开发人员

为支持 CFD 中遇到的各种辅助处理过程，如网格生成、流场解算或流动显示等，应用程序开发人员创建了程序或给予维护。程序开发人员必须能够安装符合 CGNS 的 I/O。最简便的做法是利用 CGNS 中级程序库。《CGNS 用户指南》是学会用中级程序库创建并使用 CGNS 文件的起点。《CGNS 中级程序库》文档本身也会作为基本部分来考虑。该程序库将以符合 CGNS 的方式完成最通用的 I/O 操作。然而，即使在中级程序库足以执行所有必要的 I/O 时，对文件映象和 SIDS 的了解也会有用。为确定术语的确切含义，很有必要查阅 SIDS。

应用程序开发人员希望在 ADF 文件中阅读和编写数据，这不受中级程序库支持，他们不得不直接利用 ADF 核心库，并需要《ADF 用户指南》。

### 3. 5. 4 CGNS 系统开发人员

CGNS 系统的开发可以划分几个阶段。负责 ADF 核心库维护或补充的开发人员，除《ADF 用户指南》外，不需要关注其他文献。希望添加 CGNS 中级程序库的系统开发人员将需要所有的文献资料。理论上的发展，如 SIDS 的扩展，很可能只借助对 SIDS 的了解就进行，但在执行前也必须把这一部分添加到文件映象之中。

## 4 应用软件

符合 CGNS 的应用软件的开发，如网格生成器、后置处理器等，并不是 CGNS 研究小组的直接任务。相反，它以吸引可通用的 CFD 应用程序为目的，同时 CGNS 标准得到了波音公司、NASA 以及其他机构的普遍接受，这足以促使应用程序开发人员将 CGNS I/O 引入他们的工作。

有几项与 CGNS 兼容的应用程序确实得到了发展，并不断取得进展。本节列出了发表时已知的应用程序。如修改或添加内容，请与 Charlie Towne (towne@grc.nasa.gov) 联系。

### 4.1 可与 CGNS 兼容的应用程序

本节列出阅读和/或编写 CGNS 文件的主要软件包。这里列出的软件仅仅是为了提供信息，来自 AIAA2002-0752 中的表 1。CGNS 项目小组不能为特定的软件包作担保。

表 1 可与 CGNS 兼容的网格生成器和预处理器

Organization	Application	Contact
<i>Commercial</i>		
ICEM CFD	ICEM CFD HEXA	<a href="mailto:info@icemcfd.com">info@icemcfd.com</a>
	OPTIMESH	<a href="mailto:info@icemcfd.com">info@icemcfd.com</a>
NUMECA	IGG	<a href="http://www.numeca.be/contacts_home.html">http://www.numeca.be/contacts_home.html</a>
Pointwise, Inc.	GRIDGEN	<a href="mailto:gridgen@pointwise.com">gridgen@pointwise.com</a>
<i>Industry</i>		
Boeing Rocketdyne	APPT	

表 2 与 CGNS 兼容的流动解算器

Organization	Application	Contact
<i>Commercial</i>		
AEA	CFX5	<a href="http://www.software.aeat.com/cfx/contact/">http://www.software.aeat.com/cfx/contact/</a>
	CFX-TASCFlow	<a href="http://www.software.aeat.com/cfx/contact/">http://www.software.aeat.com/cfx/contact/</a>
Aerosoft, Inc.	GASP V4	<a href="mailto:questions@aerosoft.com">questions@aerosoft.com</a>
CD ADAPCO	STARCD	<a href="http://www.cd-adapco.com/contacts.htm">http://www.cd-adapco.com/contacts.htm</a>
Fluent, Inc.	Fluent	<a href="http://www.fluent.com/contact/index.htm">http://www.fluent.com/contact/index.htm</a>
Newmerical Tech.	FENSAP	<a href="http://www.newmerical.com/Home-english/About_nti/Contact.html">http://www.newmerical.com/Home-english/About_nti/Contact.html</a>
NUMECA	EURANUS	<a href="http://www.numeca.be/contacts_home.html">http://www.numeca.be/contacts_home.html</a>
<i>Government</i>		
DLR/MTU	TRACE	<a href="mailto:Frank.Eckertz@dlr.de">Frank.Eckertz@dlr.de</a>
NASA Ames	PEGASUS	<a href="mailto:P.G.Buning@arc.nasa.gov">P.G.Buning@arc.nasa.gov</a>
	OVERFLOW	<a href="mailto:P.G.Buning@arc.nasa.gov">P.G.Buning@arc.nasa.gov</a>
	Cart3D	<a href="http://www.nas.nasa.gov/~aftosmis/cart3d/betaTest.htm">http://www.nas.nasa.gov/~aftosmis/cart3d/betaTest.htm</a>
NASA Glenn	NCC	<a href="mailto:Non-Socg.Liv@grc.nasa.gov">Non-Socg.Liv@grc.nasa.gov</a>
NASA Langley	CFL3D	<a href="mailto:c.l.ramsey@arc.nasa.gov">c.l.ramsey@arc.nasa.gov</a>
	UPS	
NPARC Alliance	WIND	<a href="mailto:npsupport@info.arnold.af.mil">npsupport@info.arnold.af.mil</a>
ONERA	elsA	<a href="mailto:elsA-info@onera.fr">elsA-info@onera.fr</a>
<i>Industry</i>		
Boeing Seattle	TLN3D	
Boeing St. Louis	CFP	
Rolls-Royce Allison	ADPAC	
Rolls-Royce Oxford	HYDRA	<a href="mailto:mike.giles@comlab.ox.ac.uk">mike.giles@comlab.ox.ac.uk</a>

Organization	Application	Contact
<i>Commercial</i>		
Advanced Visual Sys.	AVS/Express	<a href="http://www.avs.com/contact/">http://www.avs.com/contact/</a>
Aerosoft, Inc.	GASP V4	<a href="mailto:questions@aerosoft.com">questions@aerosoft.com</a>
Amtec	Tecplot	<a href="mailto:support@amtec.com">support@amtec.com</a>
CEI	Enight	<a href="http://www.ceintl.com/distributors.html">http://www.ceintl.com/distributors.html</a>
	Enight Gold	<a href="http://www.ceintl.com/distributors.html">http://www.ceintl.com/distributors.html</a>
Fluent, Inc.	Fluent	<a href="http://www.fluent.com/contact/index.htm">http://www.fluent.com/contact/index.htm</a>
ICEM CFD MIT	Visual3	<a href="mailto:info@icemcf.com">info@icemcf.com</a>
Intelligent Light	Fieldview	<a href="mailto:fieldview@ilight.com">fieldview@ilight.com</a>
Newmerical Tech.	DROP3D	<a href="http://www.newmerical.com/Home-english/About_nti/Contact.html">http://www.newmerical.com/Home-english/About_nti/Contact.html</a>
	ICE3D	<a href="http://www.newmerical.com/Home-english/About_nti/Contact.html">http://www.newmerical.com/Home-english/About_nti/Contact.html</a>
NUMECA	CFVIEW	<a href="http://www.numeca.be/contacts_home.html">http://www.numeca.be/contacts_home.html</a>
<i>Government</i>		
NASA Ames	PLOT3D	<a href="mailto:kiris@nas.nasa.gov">kiris@nas.nasa.gov</a>

表 3 可与 CGNS 兼容的后置处理器

## 4.2 CGNS 应用程序

CGNS 小组成员和 CGNS 用户开发了 CGNS 各种应用软件包。尽管不是正式的 CGNS 本身的一部分,但这些应用程序可从 CGNS 网站查得: <http://www.cgns.org/>。

ADF_Edit	以 ASCII 格式显示树型结构和内容的交互式浏览器/编辑器,可以逐项编辑。
Plot3dg_to_CGNS	将“标准”Plot3D 网格文件转换成 CGNS 网格文件。 联系人: Charis Rumsey (c.l.rumsey@larc.nasa.gov)
CGNS_to_Plot3d	将具有单元中心解的 CGNS 文件转换成“标准”Plot3D 网格文件和流动解文件。 联系人: Charis Rumsey (c.l.rumsey@larc.nasa.gov)
CGNS_readhist	阅读 CGNS 文件,将历史数据写入格式化文件中。 联系人: Charis Rumsey (c.l.rumsey@larc.nasa.gov)
FTU	将 CGNS 文件转换成 Plot3D 格式文件,并转换回来,具有基于文本的菜单,允许 CGNS 库操作使用。 联系人: Bob Bush (bushrh@pweh.com)
ADFviewer	ADF/CGNS 文件浏览器和编辑器,以 Tel/Tk 编写。GUI 允许完整地编辑 ADF/CGNS 文件,处理链接和数据转换。它包括 CGNS 内部节点和标示信息,文件支持通过 HTML 进行(包括存取 ADF 和 CGNS 文件)。 联系人: Bruce Wedan (brucewedan@hotmail.com)
CGNS viewer	首次发行的另一个 ADF/CGNS 文件浏览器和编辑器,与 ADF_Edit 功能相同,具有用户友好的 GUI。要求 GTK+程序库版本 1.2 或更新的版本(利用 Gnome 通过缺省更新的 Linux 系统安装,或存取 <a href="http://www.gtk.org">http://www.gtk.org</a> )。 联系人: Christian Lundh (xistan@yahoo.se)
PyCGNS	与 ADF 核心库和中级程序库进行 Python 绑定。详细信息参见 pyCGNS 主页 <a href="http://elsa.onera.fr/CGNS/release/">http://elsa.onera.fr/CGNS/release/</a> 。 联系人: Mark Poinot (Marc.Poinot@onera.fr)
ADFM	管理 ADF 树型结构内存说明的软件的发展版本。 详细信息见 <a href="http://www.gtk.org/utilities/ADFM/ADFM.pdf">http://www.gtk.org/utilities/ADFM/ADFM.pdf</a> , 参考“ADF 树型结构内存说明建议与样品”。 联系人: Mark Poinot (Marc.Poinot@onera.fr)
CGNS++	与 ADF 核心库和中级程序库进行 AC++绑定。详细信息见 CGNS++主页 <a href="http://vcgnspp.sourceforge.net">http://vcgnspp.sourceforge.net</a> 。 联系人: Manuel Kessler (kessler@iag.uni-stuttgart.de)。

## 5 获取 CGNS

### 5.1 软件

CGNS 软件及其应用程序免费使用,登陆 CGNS 网站 <http://www.cgns.org/>, 点击 CNU Lesser General Public License。



### 5.1.1 CGNS 程序库

CGNS 程序库通过链接在 CGNS 主页上的“软件下载”进行存取，下载前一定要注册，注意更新、bug 修正等。

“汇编的 CGNS 程序库”包括中级程序库和 ADF 核心库的目标程序，适用于各种 Unix 系统和 Windows NT。CGNS 程序库源程序也可以下载，包括用于中级程序库和 ADF 核心库的程序，以及用于各种平台的 makefiles。如果需要，用于 ADF 核心库的源程序可分开下载。还可获取包含文件，它供调用 CGNS 程序库程序的 Fortran 和 C 语言应用程序之用。

### 5.1.2 CGNS 应用程序

ADF\_Edit 应用程序也可以从与 CGNS 程序库相同的主页上下载，包括源程序和 makefiles，以及用于各种平台的预先创建的可执行文件。其他应用程序是用户开发的，通过 CGNS 主页上的“应用程序”链接访问。通常，这些仅可用作源程序。

## 5.2 文献

CGNS 文档可通过 CGNS 网站的“文献与技术论文”链接访问，或访问 CGNS 文献主页 <http://www.grc.nasa.gov/www/cgns/>。文献也可用于本 CGNS 的第二版本。所有 CGNS 文献都可以 PDF 和 HTML 格式获得。

# 6 历史与现状

## 6.1 早期发展

CGNS 的早期发展阶段为 1995 年 3 月~1998 年 5 月，当时发行了 CGNS 软件 1.0 版。项目起源于 1994~1995 年在 NASA、波音和麦道公司之间召开的一系列会议，当时，他们在“NASA 先进亚声速技术计划”的“一体化机翼设计”分部指导下工作。计划开展的工作包括 CFD 的广泛应用，多家机构进行共同分析的可能性。因此，有必要建立通用数据格式，以满足 20 世纪 90 年代中后期对 CFD 工具的需求。该格式能够用于确保与 CFD 有关的不同工具之间和不同计算平台之间的数据交换，并为 CFD 数据的归档和检索提供一种手段。

当时，用于 CFD 数据的 de facto 标准是 Plot3D 采用的文件格式，是一种 NASA 阿姆斯研究中心开发的流动显示程序。然而，Plot3D 格式开发的目的是促进后置处理，从没打算作为用于 CFD 数据存储与交换的通用标准。到 20 世纪 90 年代早期，CFD 变得更加成熟，作为通用标准的 Plot3D 格式的局限性变得很明显。不能为存储与现代 CFD 技术有关的数据提供保障，比如非结构网格、基于偏微分方程解的湍流模型以及多种化学物质的流动等。

个别机构克服了这些局限性，通过扩展 Plot3D 格式来满足他们的需求。但这些扩展在不同机构之间并没得到协调，因此，存储在这种扩展格式中的数据不能为初创机构之外的机构使用。而且，Plot3D 格式无法自我定义，必须依赖文件命名惯例或外部提示来保持对流动条件和每个 Plot3D 数据文件的分析几何结构的了解。

为克服这些局限性，1994 年 12 月~1995 年 3 月，NASA、波音和麦道公司研究小组考虑了几种数据库的选择方案。1995 年 3 月，作出了制定新数据标准的决定，该标准称为 CGNS（复

杂几何结构 Navier Stokes——Complex Geometry Navier Stokes)。该标准从“一张白纸”开始发展，并深受 1989 年制定和应用、1992 年经过很大修订的“麦克唐纳·道格拉斯通用文件格式 (CFF)”的影响。

波音公司在 NASA 合同 NAS1-20267 下对发展 CGNS 达成了一致协议。来自下列组织的 CFD 研究人员积极参与了这一活动：

- NASA 兰利研究中心
- NASA 格林研究中心
- NASA 阿姆斯研究中心
- 麦道公司（现在的波音公司）
- 波音商业飞机集团（Seattle）空气动力学分部
- 波音商业飞机集团（Seattle）推进研究分部
- ICEM CFD 工程公司

初期研究时间为 1995~1998 年，主要包括 4 项活动：

- 开发标准数据库管理器（ADF 核心库）
- 识别并配置 CFD 数据（SIDS 和文件映像）
- 开发用于应用程序的 API（中级程序库）
- 系统能力演示

### 6.1.1 开发 ADF

如前所述，在检测几个现有格式之后，作出了开发 CGNS 的决定。由于层次结构，认为麦道公司当时在使用的 CFF（通用文件格式）与 SIDS 最具有兼容性。然而，CFF 也有局限性，决定采用 CFF 结构但以更加通用的格式重建。因此，这就使得开发人员能够对软件进行控制，并促进了耐用、可移植、可靠且灵活的数据库管理器的开发，这种管理器可在系统内自由分配。

1995 年开发出了初级程序，编制了 ADF（高级数据格式）核心库。波音编写了 ADF，并且少数熟悉标准软件开发的人员在波音对 ADF 进行了广泛检验，现在都可能认为是一种性能稳定的产品。

### 6.1.2 确认并配置 CFD 数据

与开发 ADF 同时进行的另一项任务，是确认与 CFD 有关的数据，并确定了一种在 ADF 格式以内的编译方法。国内研究机构对该项任务给予了主要关注，波音公司提出标准，其他机构提出批评意见，并进行检验和改进。该任务从开发 SIDS 及其语言开始。SIDS 的层次特点用来为 SIDS-to-ADF 文件映像惯例提出建议，在 SIDS 之后，此惯例只是沿着相同的轨迹稍有发展。

### 6.1.3 开发 API

在 1997 年 6 月的一次审查会上，CGNS 研究小组（NASA、波音公司和麦道公司）决定需要其他支持，以便开发出满足要求的中级程序库。作出决定之后，与位于加利福尼亚州伯克利（Berkeley）的 ICEM CFD 工程公司签订了转包合同。实际上，ICEM CFD 成为了开发中级程序库的领导机构。

也就是在这个时期，重新定义了“CGNS”这个简称，意思是“CFD 通用符号系统”，这与该项目的发展目标更加一致。

1998 年 5 月发行了中级程序库的 1.0 版，这个版本满足支持结构多块分析程序的最初目的。这套较高级的程序使用户能够执行 SIDS 确定的 CFD 标准，而不需要专门了解文件映像或 ADF 核心库。此项活动对于 CFD 界内接受和执行 CGNS 是至关重要的。

NASA 和非正式 CGNS 委员会决定，没有必要输出版权，因此，CGNS 标准、ADF 核心库

和中级程序库以及所有支持文档，都可以作为免费商品让全世界拥有。为使该决定生效，NASA 和波音公司得到了适当的法律审查并获批准。

#### 6.1.4 系统能力演示

**样品** 为检验 CGNS 数据记录与检索方法，获取软件安装到通用应用程序中的经验，开发人员修改了两个 CFD 解算器(称为 NPARC 和 TLNS3D)，以便在 CGNS 环境下运行。此外，NASA 兰利研究中心也对 CFL3D 作了类似的修改。这些修改是在项目早期、中级程序库建立之前和 SIDS 后期进行的。

为每个样品程序准备了单独的数据算例。每个样品程序都证明能够像预期的那样启动、退出和再启动其数据算例。另外，在三种情形中，成功地演示了 CGNS 数据在工作站(SGI)和主机(CRAY)平台之间的传输。

NPARC 和其他两种程序(即节点与单元中心数据)要求的数据内容的非相似性，阻碍了根据 TLNS3D/CFL3D 数据再启动 NPARC，反之亦然。然而，这种再启动在 TLNS3D 和 CFL3D 之间进行了演示。

这些样品程序在某些方面受到了限制，因此，不适合当作它们在 CGNS 中最终的相应能力来执行。主要局限性如下：

- 样品程序只执行 CGNS 数据技术要求中的网格坐标、流动解、边界条件和 1 对 1 接口连接部分。

- 没有为改进与 CGNS 数据编排方式的兼容性，而尝试修改任何程序的内部结构。

- 样品程序主要利用 ADF 核心级的程序存取 ADF 文件。一些较高级的程序也包括在内，在许多情况下，这些程序提供的是 CGNS 中级程序库的内容。但是，高级样品程序往往使 ADF 功能与 CGNS 功能互相混合，并且在某些情况下，它们是程序专用的，或者取决于使它们这样做的内部指令。因此，它们不如本中级程序库的程序那样应用广泛。

- 这些程序只实践了一部分 CGNS 边界条件技术要求。

- 样品程序有时将额外节点插入其载有程序专用的数据的 ADF 文件中。这样做的一部分原因是，在编写样品程序时缺乏完整的 CGNS 数据技术要求，但也获得了结果；另一部分原因是，当前程序的输入结构要求不同(但相当)形式的 CGNS 数据，并且开发人员选择在 CGNS 数据库库中复制它。

编制样品程序获得的一般经验教训是：内行的程序员在 ADF 核心级执行 CGNS 的过程中不存在概念上的困难。但最终程序是不方便的，需要开发中级程序库，来简化 CGNS 在那些不愿意利用 ADF 核心库来工作的人们之间的传播。

**系统演示器** 随着 CGNS 的研究工作取得进展，另外开展了一些活动，用以演示成熟系统的能力。通称为“系统演示器”，此系统检验了 CGNS 在应用程序之间无缝传输数据的能力，而这在以前从未共同操作过。系统演示器采用包括在中级程序库中的现有 SIDS 的大部分程序。

选用来进行检验的几何形状是高升力布局，称为梯形翼。该机翼为多元翼型，具有全翼展前缘缝翼和襟翼，普通机身。

系统演示器中包括 3 种可与 CGNS 兼容的单独的应用程序：

GMAN                波音公司开发的预处理器和网格生成工具。

OVERFLOW        NASA 阿姆斯开发的 CFD 流动解算器。

Visual3            根据 ICEM CFD 研究出来的流动显示工具，最初由 MIT 开发。

系统演示器包括下列任务：

- (1) 采用 NASA 阿姆斯的网格工具生成网格，并按 Plot3D 文件编写。

- (2) 网格文件交给波音公司，在这里通过局部改版 GMAN 进行处理。GMAN 计算网格的连接性信息，并将网格和连接性数据写入 CGNS 数据库。此时，还将边界条件添加到 CGNS 数



数据库中。

(3) CGNS 文件返回到阿姆斯特中心, 在这里通过新修订的 OVERFLOW 程序阅读(由于 GMAN 采用的重叠洞确定方法不同于 OVERFLOW 通常期望的那样, 因此在这里, 有些重复是必要的。CGNS 文件原封不动, 目的是突出不同之处)。OVERFLOW 计算了流场, 并将结果写入 CGNS 数据库。

(4) 然后, 将 CGNS 文件传输给 ICEM CFD。在此, 采用 Visual3 读取和显示 CGNS 数据库。

系统演示器在不同工作站和主机计算设备之间进行了有效的跨平台数据传输。结果表明, 普遍的数据交换得到了 CGNS 很好的支持。

## 6.2 后续开发活动

### 6.2.1 软件

自 1998 年 5 月 CGNS 软件的 1.0 版发行以来, SIDS、文件映像和中级程序库进行了几次改进和扩展。

- 1.1 版于 1999 年 6 月发行, 添加了对非结构网格和带有网格表面的 CAD 几何实体的支持。

- 2.0 版于 2000 年 12 月发行, 添加了对运动网格和/或变形网格, 以及迭代/时间相关数据的支持。

- 2.1 版 beta 1 于 2002 年 2 月发行, 添加了对用户确定的数据组、化学过程和链接节点的支持。

CGNS 软件更详细的修订情况可从 CGNS 网站查得。

ICEM CFD 通过 2.0 版发行是 CGNS 软件开发的焦点。虽然规模较小, 但 CGNS 仍不断取得进展。2.1 版呈现出新特色, 其焦点是 Intelligent Light, 用 NASA 兰利中心提供的资金支持, 对中级程序库进行了必要的补充。

### 6.2.2 管理与支持

1998 年, NASA 宣布先进亚声速技术项目将于 1999 年 9 月结束, 这给 CGNS 的最初开发提供了资金支持。对 CGNS 继续开发感兴趣的几家机构于 1999 年 5 月聚会讨论发展方案, 决定创建 CGNS 管理委员会, 自愿公共组织由来自政府和私人企业的国际代表组成。

管理委员会负责协调 CGNS 标准及其支持软件和文档的进一步发展和传播。2000 年 1 月, CGNS 管理委员会成为 AIAA CFD 标准委员会的下属委员会。管理委员会的任务与职责的其他详细情况及其组织机构参见《CGNS 管理委员会章程》。

当然, 为反映上述软件的变化情况, 更新了基本的 CGNS 文档。此外, 所有文档均已转换成 LaTeX (用于创建 PDF 打印版本) 和 HTML (用于交互式使用)。新的文档《CGNS 用户指南》于 2001 年 10 月发行, 对于中级程序库的新用户和未来用户非常有帮助。

为鼓励 CGNS 用户之间的交流, 2000 年 10 月开设了邮件列表, 称为“CGNSstalk”。说明介绍可在 CGNS 网站查得。

## 6.3 现状

自 1998 年 5 月中级程序库首次发行以来, 整个 CFD 界对 CGNS 的兴趣越来越浓厚。该系统正得到学术团体、工业界和政府部门的工程师和科学家们的利用。到 2002 年 1 月为止, 有超



过 25 个国家的 591 个用户在 CGNS 网站正式注册。仅 2002 年 3 月, CGNSStalk 邮件列表有来自 16 不同国家和至少 38 个机构的 99 人参与。

### 6.3.1 软件

CGNS 的当前“产品”为 2002 年 1 月 11 日发行的 2.0 版和修订版 4。当前“beta”版为 2002 年 4 月 30 日发行的 2.1 版 beta 3, 它包括支持用户确定的数据组、化学过程和链接节点的增补内容。

正式提出了对 CGNS 的几项扩展。文档支持这些扩展, 有关现状信息可通过 CGNS 网站的“扩展建议”链接查得。

### 6.3.2 标准

由波音公司牵头, 正在进行一项工作, 以 CGNS 标准为基础, 为说明、存储和交换流体动力学中的数字数据建立 ISO-STEP 标准。这是一个漫长的过程, 必须通过 6 个考核点或“门槛”。第一步以对 ISO 的说明开始, 1999 年 1 月进行。前两个门槛是“准备工作项”和“新工作项”, 分别于 1999 年 11 月和 2001 年 2 月通过。ISO 标准的最后一个考核点计划于 2004 年秋通过。该过程的详细信息以及起草 ISO 文件可通过 CGNS 网站的“ISO 建议”链接查得。

为存储 CFD 数据, 作为 AIAA CFD 标准委员会的下属委员会所起的一部分作用, CGNS 管理委员会也包括在 AIAA 建议实践的发展之中。正在修订 CGNS 标准接口数据结构 (SIDS) 文档, 以便与 AIAA 的要求一致。最终考核于 2002 年中期进行。

## 6.4 重要贡献

整个 CGNS 研究小组因其成就而值得称赞。该项目无疑是政府与工业部门之间进行有效自愿合作的最好实例。每一个成员工作热情高涨, 为使工作不断得到改进而献计献策, 在 CFD 研究领域成为理论与实践相结合的突出代表。

在这项复杂的工程中, 不可能列举出每个人的贡献。不过, 比较恰当的是记下一些个人在艰苦创业阶段为该项目做出的突出贡献, 因为他们的工作促成了 CGNS 在 1998 年 5 月首次发行。

- Steve Allmaras 构想、推行、完善了 SIDS, 并研究出了编写语言。
- Tom Dickens, Matt Smith 和 Wayne Jones 设计了 ADF 核心库。
- Tom Dickens 编写了 ADF 核心库。
- Dan Owen 在 Tom 离开小组后维护并调试了 ADF 核心库。
- Chuck Keagle 为 ADF 核心库设计并实行了严格的检验过程, 也就是说, 他想方设法突破这种检验过程。
- Diane Poirier 设计和编写了 CGNS 中级程序库, 为非结构网格起草了初步意见。她与 Alan Magnuson 共同为 CAD-to-几何形状技术要求起草了建议。
- Gary Shurtleff 编写了 TLNS3D 和 NPARC 样品程序, 并长期为我们提供了唯一的 CGNS 工作软件。
- Chris Rumsey 作为与 NASA 兰利中心的联络员, 通过编写 CFL3D 样品程序, 征询详细的批评与改进意见, 并对系统进行检验。
- Cetin Kiris 两次将 OVERFLOW 程序转换成 CGNS。
- Wayne Jones 用实际程序检验了抽象概念, 发现了编成 ADF 中级程序库和 CGNS 工具包的方法。
- Matt Smith 编写了大部分文件映像和 ADF 核心库文档, 利用 CFD 和软件设计知识, 对意见提出了很好的想法。
- Ray Cosner 是一个可靠的支持者, 进展缓慢时他往往能够推动事业前进。

• Susan Jacob 作为一个使效率提高的指导员，给予了最初的指导，并使大家（大体上）都朝同一方向前进。

• Doug McCarthy 使该项目完善。

• Shay Gould 使该文档浅显易懂且经得起挑剔。

特别提示：

• Ben Paul 为最初的投资提供了安全保障，并领导项目通过了合同的初始阶段。我们永远也不会忘记 Ben 召开的那些会议，坚信自己的观点和我们的观点，明确我们需要做什么，我们正在做什么。他的耐心和坚强的毅力别人是无法取代的。