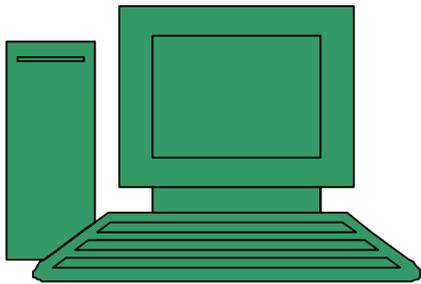


# 计算机科学在飞机设计中应用

**The single most important factor shaping our industry has been, and will continue to be, the computer.**



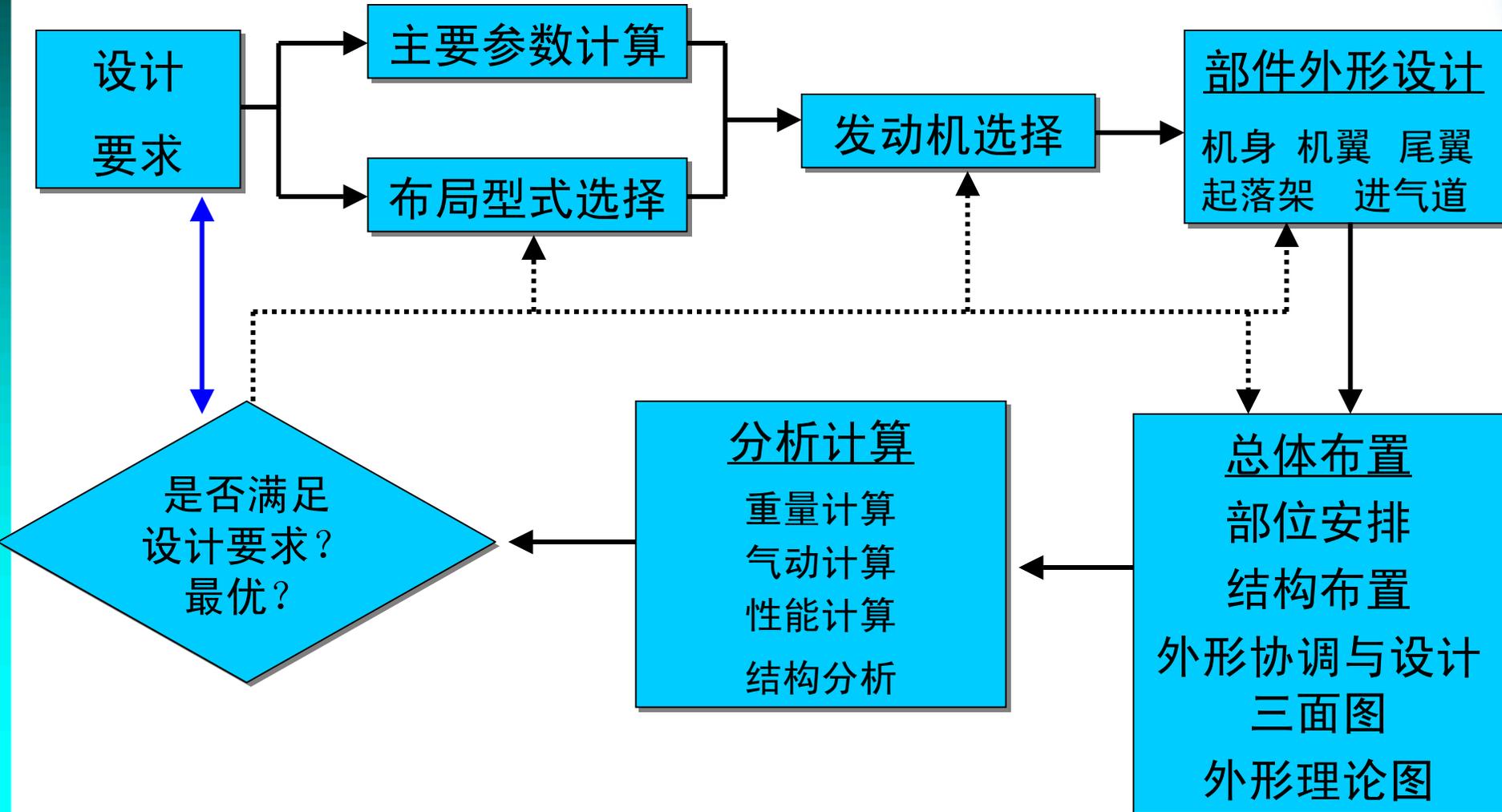
**By Mark A. Bugress, Principal engineer**

**Boeing Advanced systems**

**From "The future of aircraft design"**

**Aerospace American, Sept. 1991**

# 飞机总体设计框架





# 计算机辅助分析

- 初步估算与分析

- T/W与W/S的界限线图
- 重量，气动特性，飞行性能，推进系统，操稳特性，成本估算
- 典型软件：
  - AAA (Advanced Aircraft Analysis)

- 详细分析

- 计算空气动力学 (CFD)
- 结构有限元分析 (FEM)
- 飞行动力学

# 计算机辅助分析软件之一

航空宇航学院



## 界限线图分析

飞机主要参数辅助分析系统—喷气式商务机

File Edit Tools Window Help 设置

喷气式商务机—界限线

起飞推重比  $(T/W)_{to}$

起飞翼载荷  $(W/S)_{to}$ — $kg/m^2$

控制区

发动机台数  起飞重量

2

280  Vcr  Vtr 0  Fre

3000  Rcr 1  Etr 60000  Wtg

14000  Wpl 465  Wcr

Vs  Clm

1500  Sto 2.4  Clt

1500  Sl 3.0  Clt

10  A  23.65  23.67  23.77

Np  25.121-T0  25.121-L

0.0030  Cf

10000  Hcr  Ip

就绪  0.55  推重比  400  翼载荷

结果和说明

最终结果:

空机重量:	31913kg	燃油重量:	11221kg	起飞重量:	57755kg
机翼面积:	144m <sup>2</sup>	起飞推力:	311298N	翼载荷:	400kg/m <sup>2</sup>
推重比:	0.55				

开发者:

李晓勇

2002年

毕设项目

学号:

01980225



## AAA (Advanced Aircraft Analysis)

Advanced Aircraft Analysis 2.3 - EXAMPLE.GPR - Flight Condition 1

File Edit Window Help

Weight Aerodynamics Performance Geometry Propulsion Stab. & Control Dynamics Loads Structures Cost

Take-off Weight: Flight Condition 1

Calculate Export Theory Close

**Input Parameters**

A	0.3411	$W_{TO\ est}$	2800.0 lb	$M_{tfo}$	0.500 %
B	0.9519	$W_{PL}$	500.0 lb	$M_{F\ res}$	10.000 %

**Output Parameters**

$M_{tr}$	0.8436	$W_F$	517.6 lb	$W_{F\ res}$	47.1 lb	$W_E$	1976.1 lb
$W_{F\ used}$	470.6 lb	$W_{F\ max}$	517.6 lb	$W_{tfo}$	15.0 lb	$W_{TO}$	3008.8 lb

**Mission Profile Table**

	Mission Profile	$W_{begin}$ lb	$\Delta W_{F\ used}$ lb	$W_{F\ begin}$ lb
1	Warmup	3008.8	6.0	517.6
2	Taxi	3002.8	6.0	511.6
3	Take-off	2996.8	6.0	505.6
4	Climb	2990.8	16.3	499.6
5	Cruise	2974.4	404.4	483.3
6	Loiter	2570.0	6.3	78.9
7	Descent	2563.8	12.8	72.6
8	Land/Taxi	2551.0	12.8	59.8

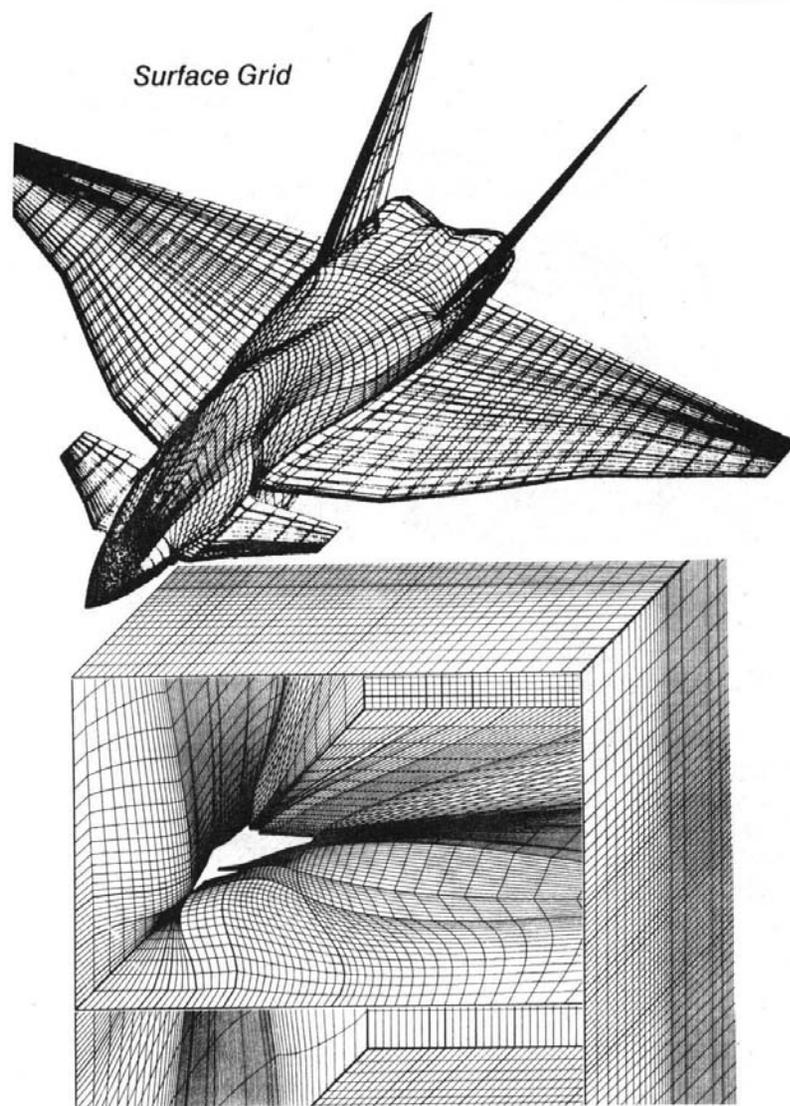
Units Date/Time Project Company Printer Calculator Options Flight Cond. Notes Copy WMF Print Atmosphere Help Exit

File Configuration Certification Setup

DARcorporation Example Airplane 01/31/01 11:44 AM

# 计算空气动力学 (CFD)

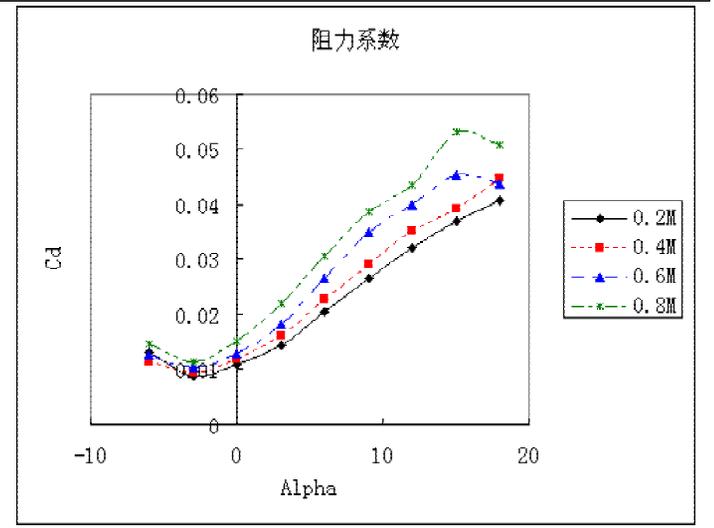
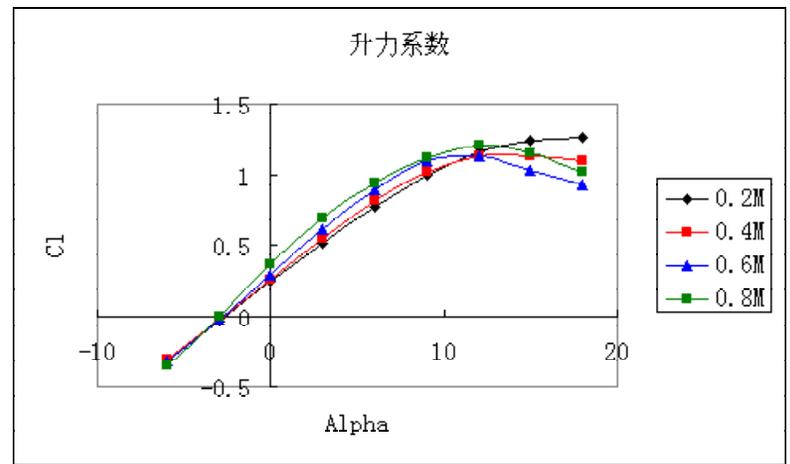
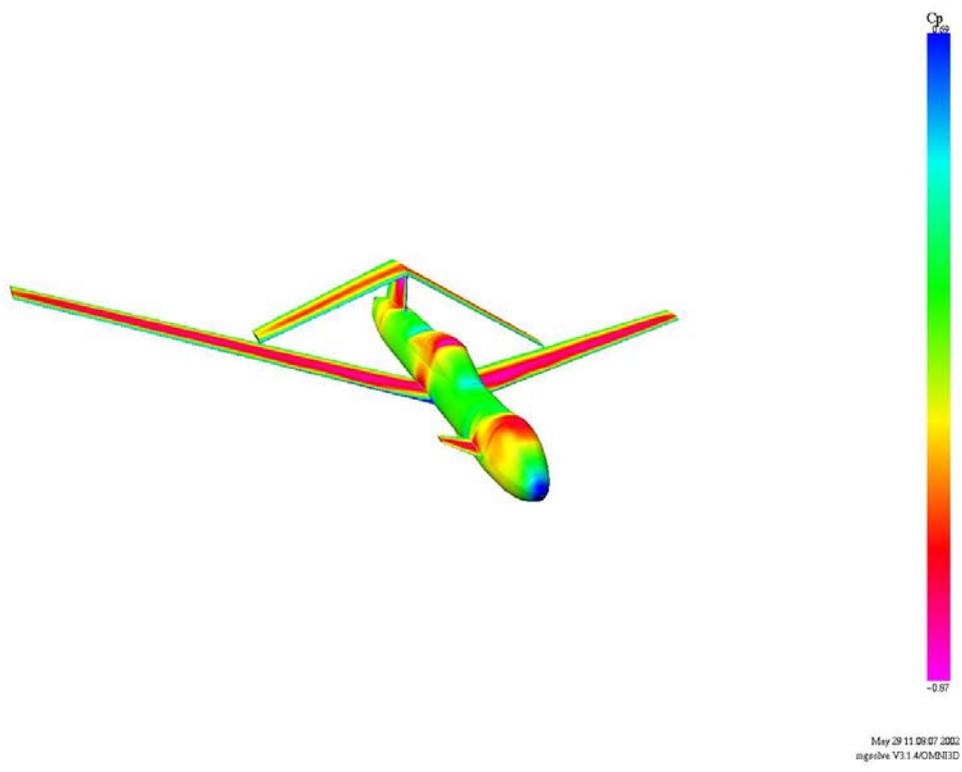
- 涡格法软件
  - VLM
  - TORNADO
- 面元法软件
  - PanAir
  - VSAERO
- 基于欧拉方程的飞机气动特性计算软件
  - MGAERO
- 基于N-S方程的CFD软件
  - FLUENT
  - CFX





# 气动特性的模拟

## 用MGAERO软件分析非常规布局飞机气动特性



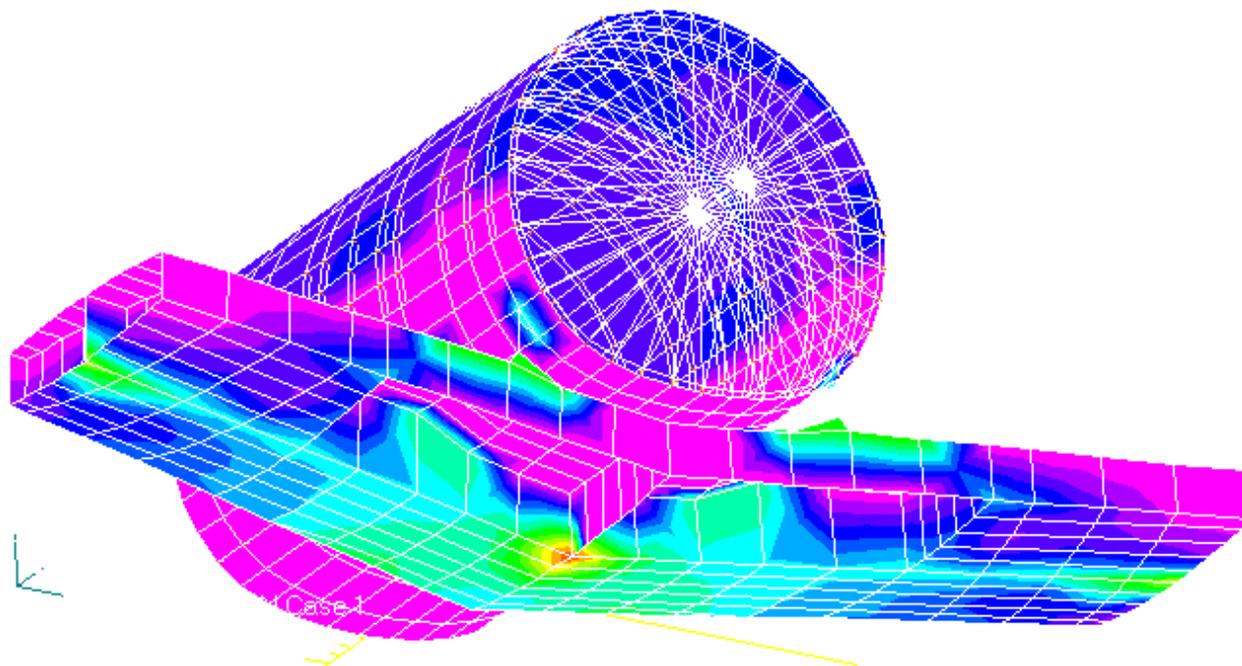
SOLN=1

计算者：一院00级研究生

薛飞 穆雪峰

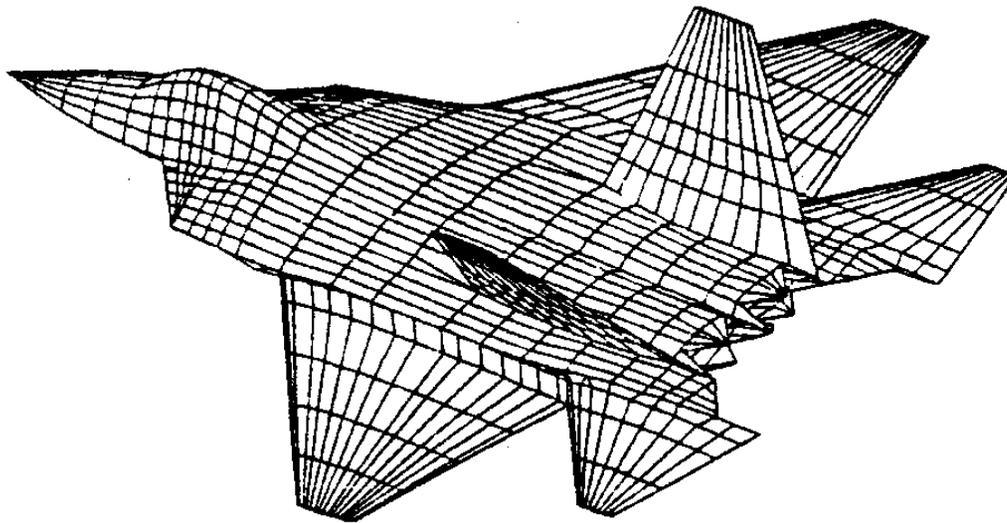
# 结构有限元分析

- 软件
  - NASTRAN
  - ANSYS
  - GENESIS



# 计算机辅助设计

- 计算机绘图
- 飞机三维外形的数学描述
- 总体布置
- 软件
  - AUTOCAD, Rhino, CATIA, PRO-E, UG

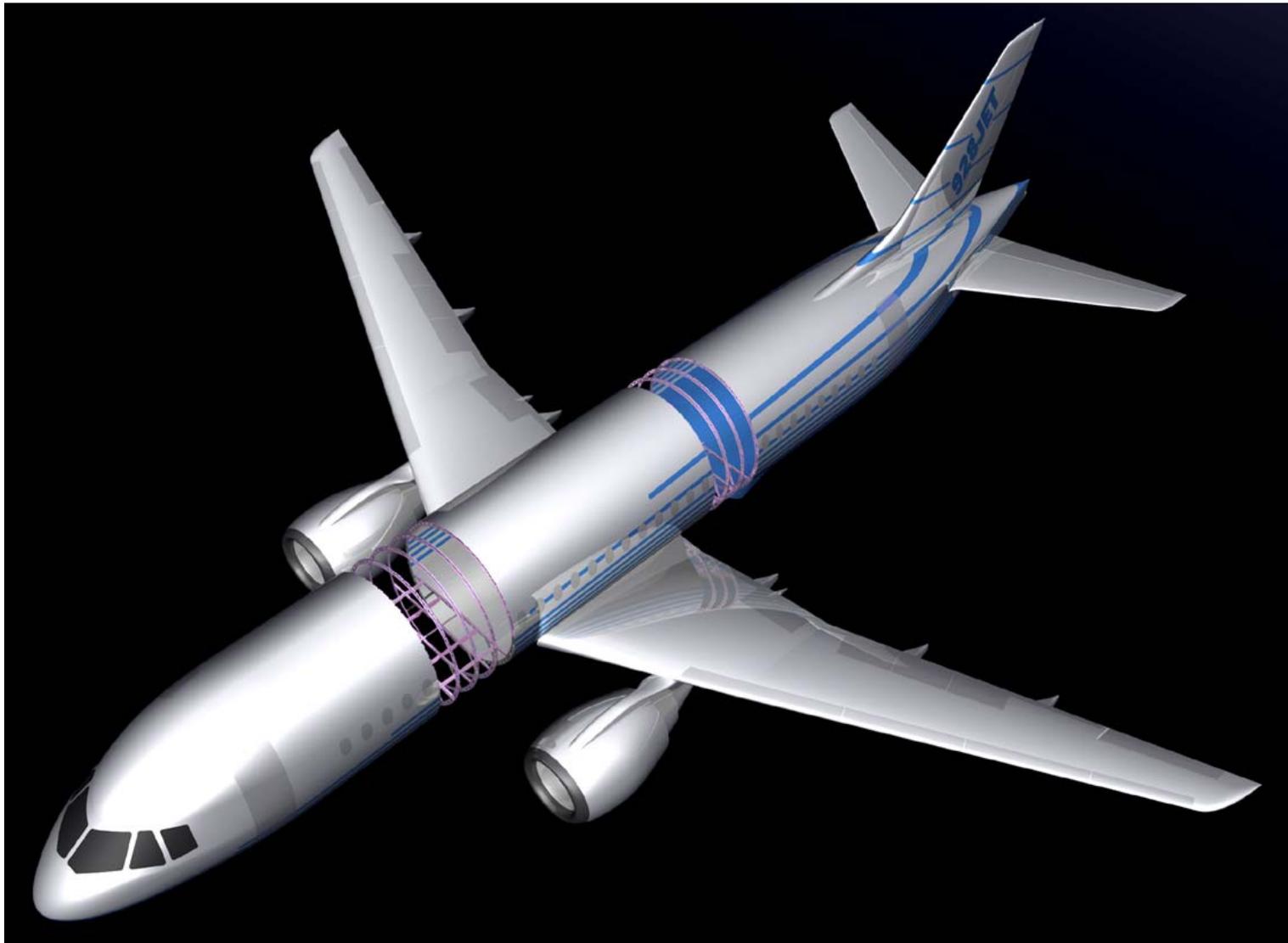


**YF-22**三维外形

(昂海松教授提供)



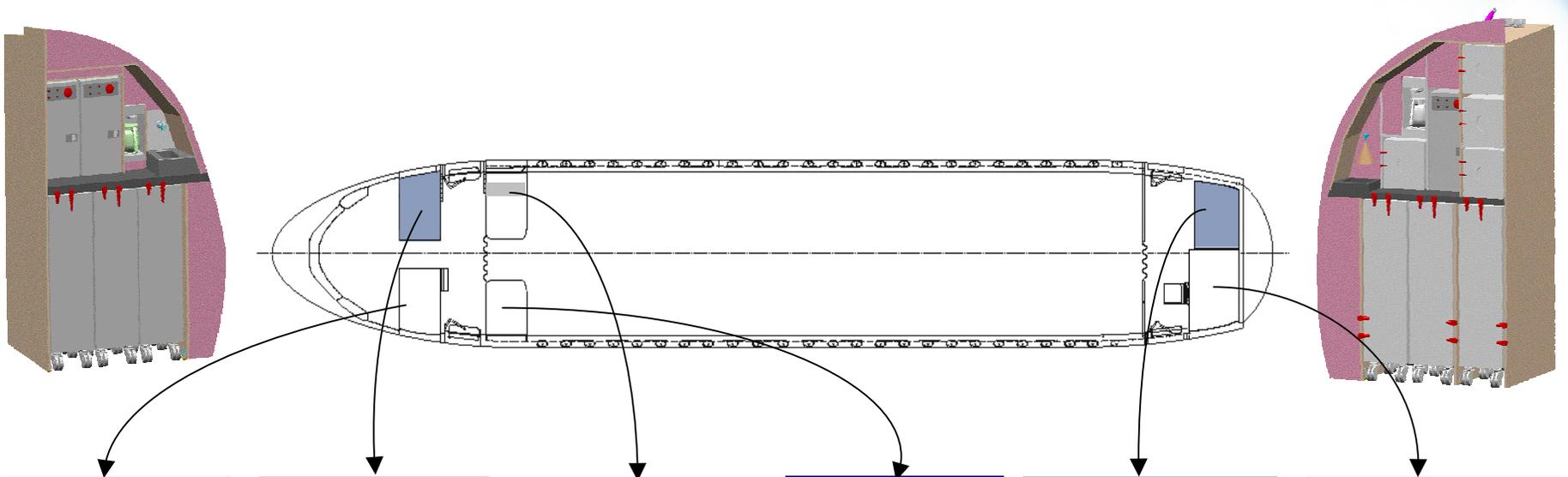
# 728JET 三维外形





# 总体布置

## 728JET and 928JET Galleys and Wardrobes



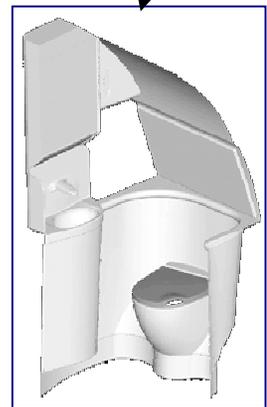
**Fwd FA Seat**  
(View Fwd)



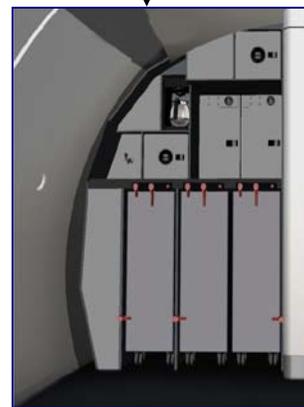
**Forward Galley**  
(View Fwd)



**Forward Wardrobe**  
(View Aft)



**Forward Lavatory**  
(View Aft)



**Rear Galley**  
(View Aft)

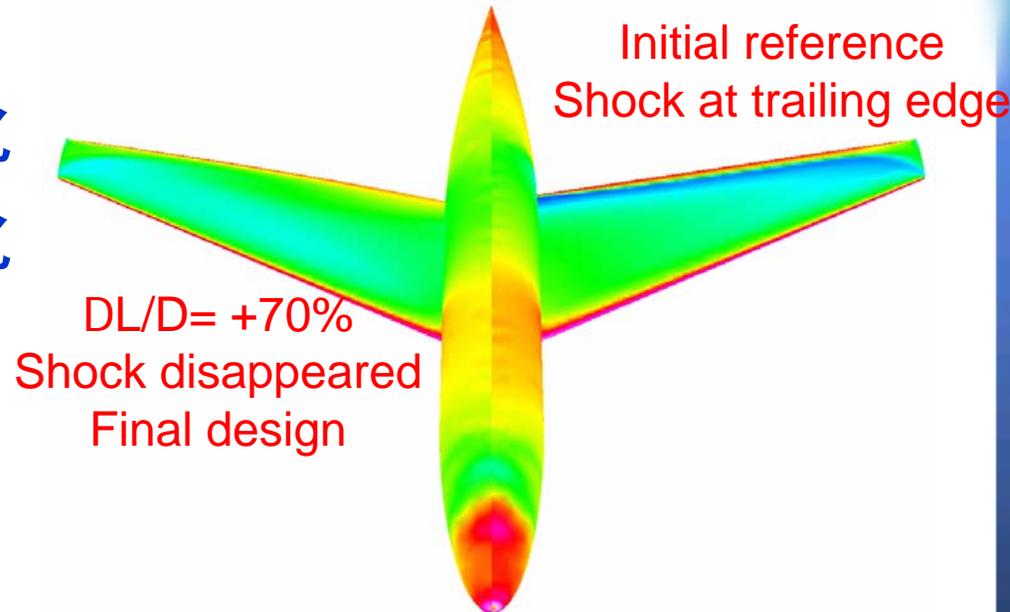


**Rear Lavatory**  
(View Aft)

**Flexible Design to Meet Highest Customer Requirements.**

# 优化设计

- 气动优化
  - 翼型优化
  - 部件气动外形优化
  - 全机气动外形优化
- 结构优化
  - 零件设计优化
  - 部件设计优化
- 综合优化
  - 总体参数优化
  - 多学科设计优化





# 人工智能

- 专家系统技术、人工神经网络
  - 翼型选择
  - 部件参数的初始选择
  - 发动机选择
- 数据挖掘
  - 发现飞机各数据项之间的关系

飞机类型	机翼位置		
	下单翼	中单翼	上单翼
直机翼	$5^{\circ}\sim 7^{\circ}$	$2^{\circ}\sim 4^{\circ}$	$0^{\circ}\sim 2^{\circ}$
亚声速后掠翼	$3^{\circ}\sim 7^{\circ}$	$-2^{\circ}\sim 2^{\circ}$	$-5^{\circ}\sim 2^{\circ}$
超声速后掠翼	$0^{\circ}\sim 5^{\circ}$	$-5^{\circ}\sim 0^{\circ}$	$-5^{\circ}\sim 0^{\circ}$

发现知识：上单翼后掠角的布局上反角较小

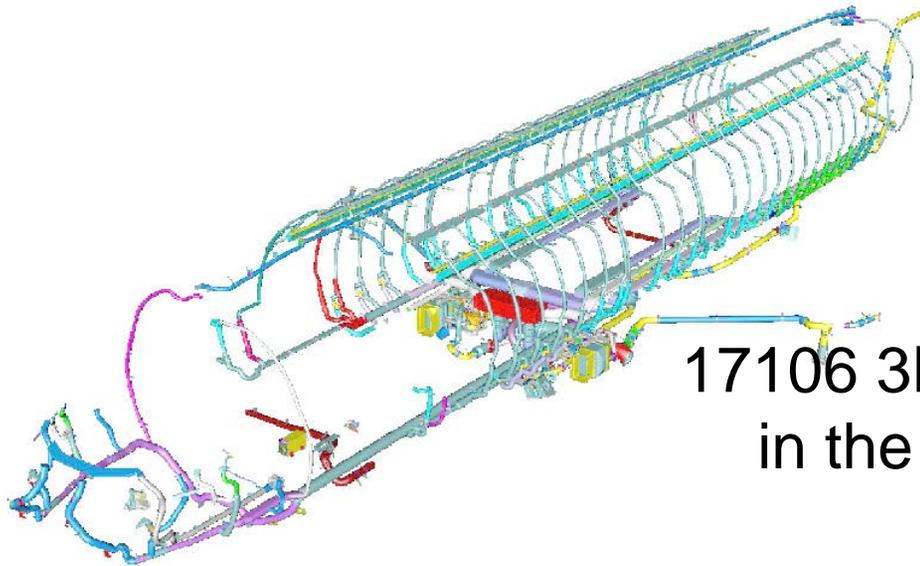
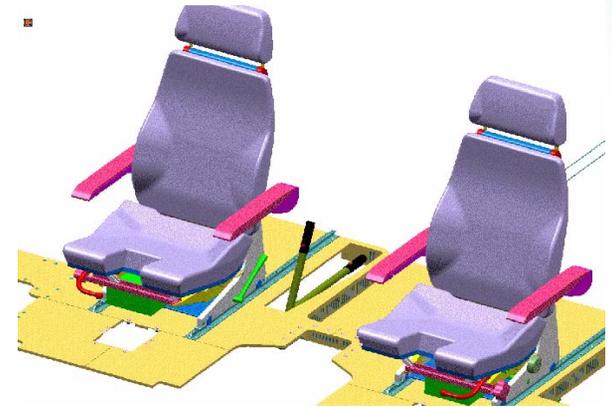
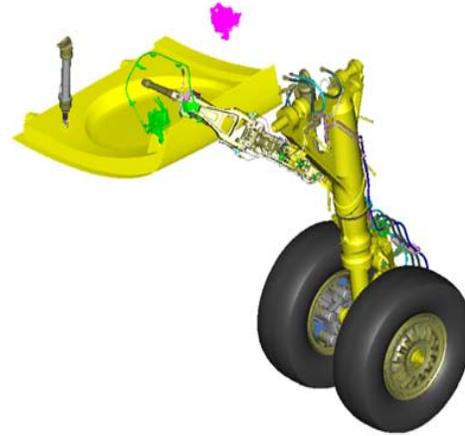
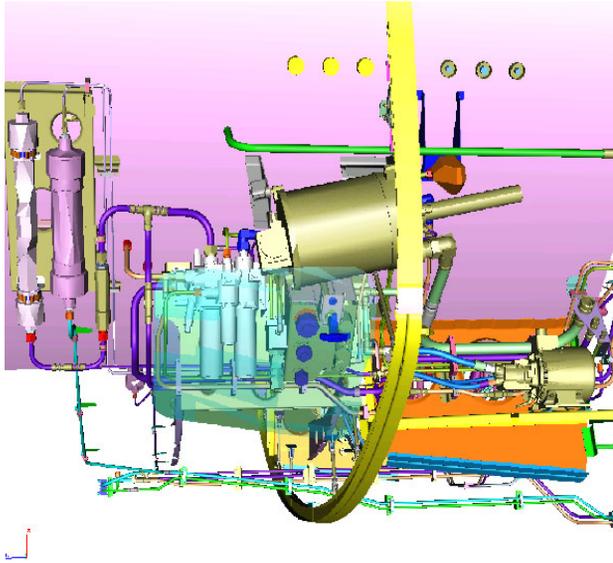


# 虚拟现实和三维动画

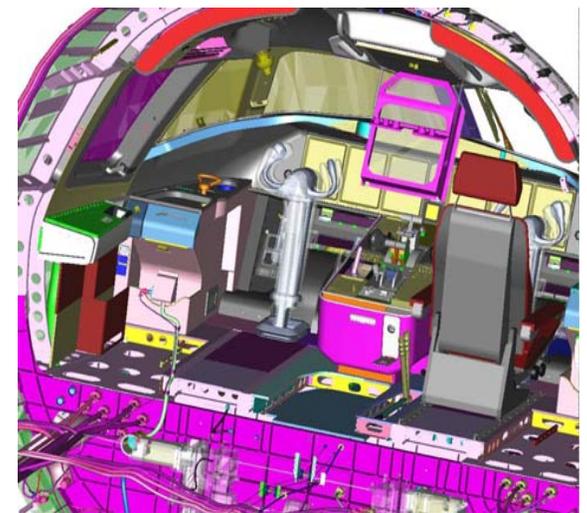
- 电子样机
- 飞行模拟
  - 头盔, 数据手套
  - 飞行性能的验证
    - 飞行模拟在设计阶段就已进行 (F-22)
- 空战模拟



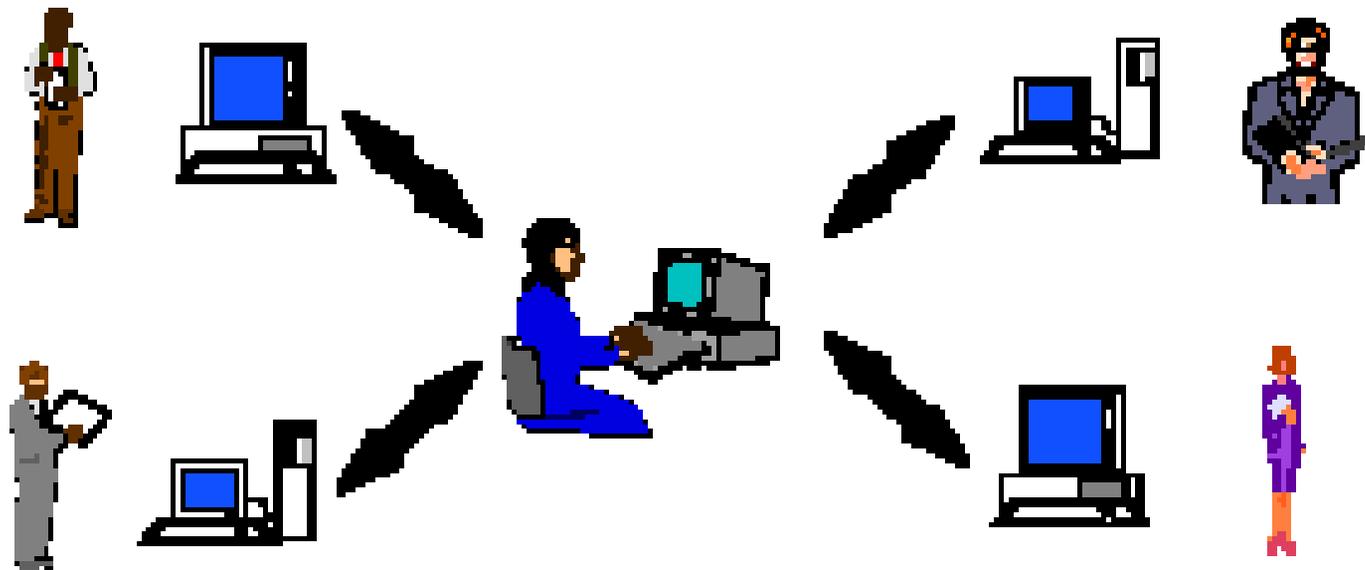
### Design Freeze Achieved



17106 3D-Solids  
in the DMU

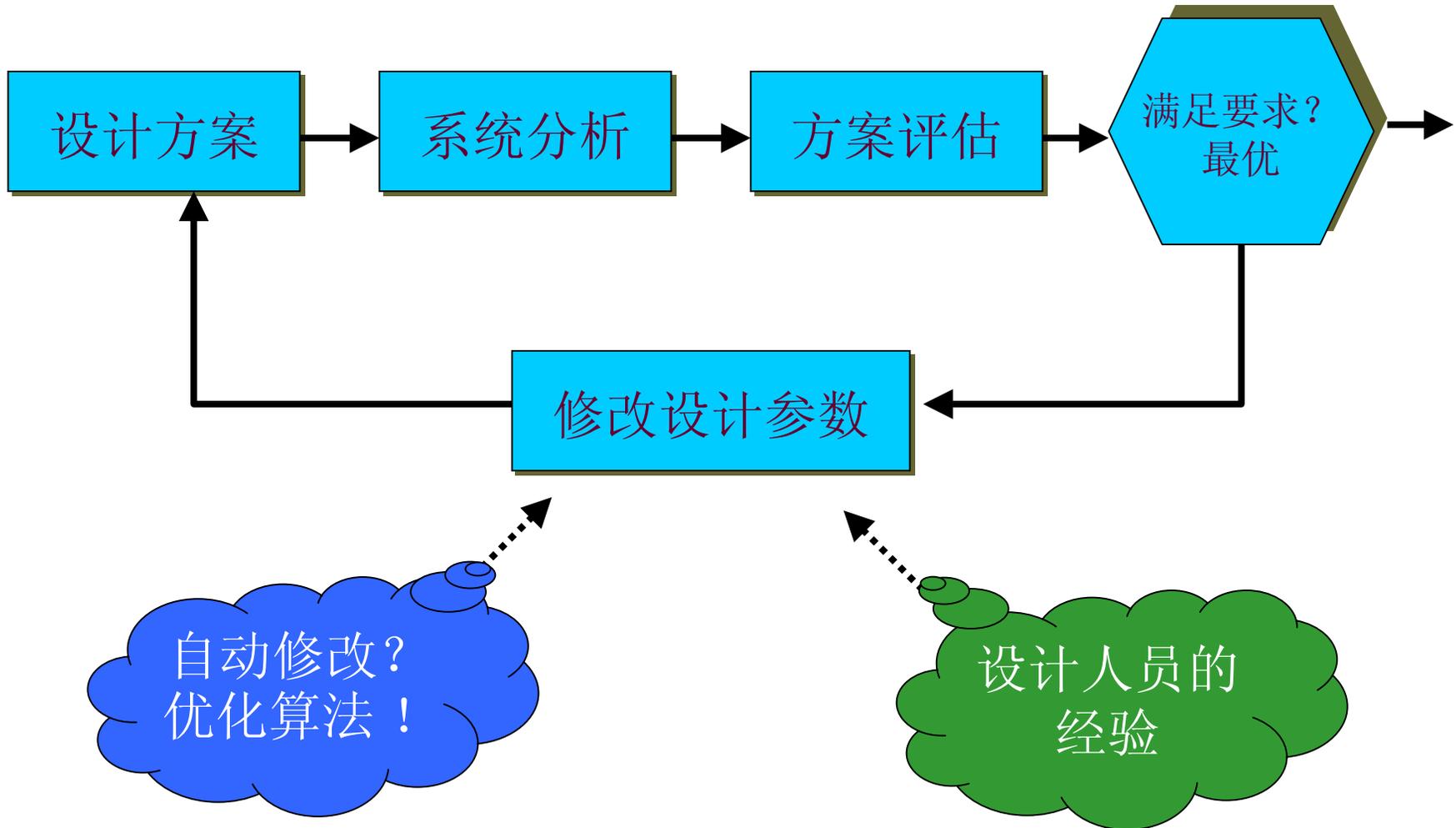


# 分布式计算技术





# 飞机总体参数优化的基本概念





# 基本概念

## • 设计变量 $X$

- 用来描述工程系统的特征、在设计过程中可被设计者控制的一组相互独立的变量。

## • 设计变量空间 $A$

- 各设计变量的取值范围组成的多维空间。
- 设计空间中的一个点为一个设计方案。

## • 系统参数 $P$

- 用来描述工程系统的特征、在设计过程中保持不变的一组参数。

## • 状态变量 $Y$

- 用来描述工程系统的性能或特征的一组参数。
- 一般与约束和目标函数直接有关，这些参数是设计过程中进行决策的重要信息。



# 基本概念

- 系统分析

- 给定一系统设计变量 $X$ ，通过解一组系统状态方程 $Y = f(X)$ ，得到系统状态变量 $Y$ 的分析过程。

- 可行设计

- 满足所有设计要求或设计约束的设计。
- 所有可行设计点组成的空间称为可行域。

- 最优设计

- 使目标函数最小（或最大）的可行设计。
- 最优设计可分为局部最优和全局最优设计。



# 优化模型三要素

- 目标函数
  - 比较方案优劣依据
- 设计变量
  - 描述设计方案
- 约束
  - 设计要求

## 优化模型:

- 寻找设计变量 $X$
- 在满足约束的前提下
- 使目标函数最小（或最大）



# 优化问题的一般数学表达形式

- 求:  $\mathbf{X} \in A$
- 满足约束:  $g_i(\mathbf{X}) \leq 0$   
 $h_j(\mathbf{X}) = 0$
- 使得:  $\text{MIN } F(\mathbf{X})$ 
  - $\mathbf{X}=[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n]^T$ , 是设计变量,  $A$ 为设计变量空间。
  - $g_i(\mathbf{X})$ 是不等式约束,  $h_j(\mathbf{X})$ 是等式约束,
  - $F(\mathbf{X})$ 是目标函数



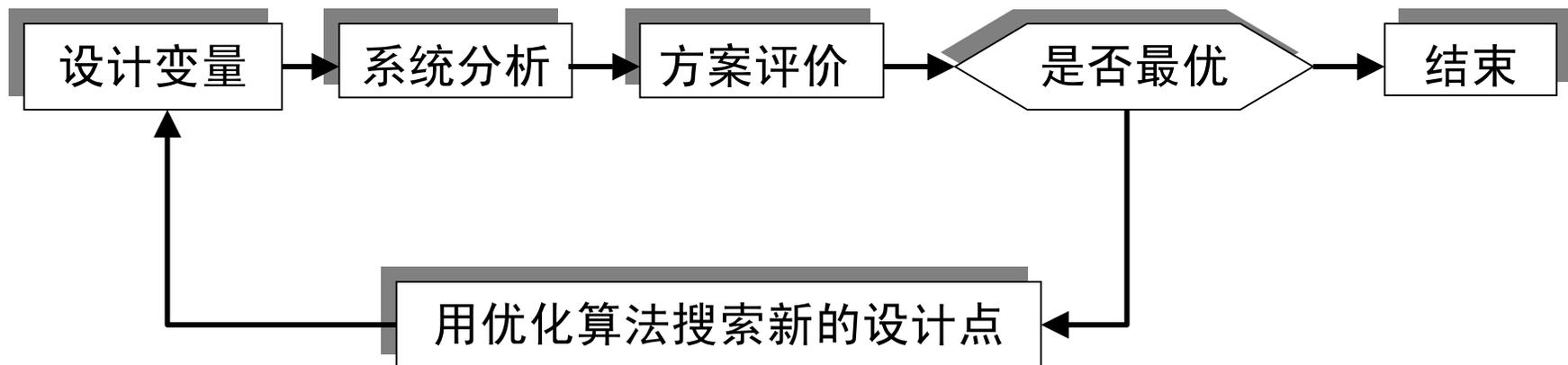
## 例子

# 亚音速喷气教练机总体参数优化

- 求设计变量 $X$ 
  - 机翼面积、展弦比、油量，根部的相对厚度、发动机推力
- 满足约束
  - 最大速度、着陆速度、航程、爬升率
- 使得目标函数最小
  - 起飞重量最小



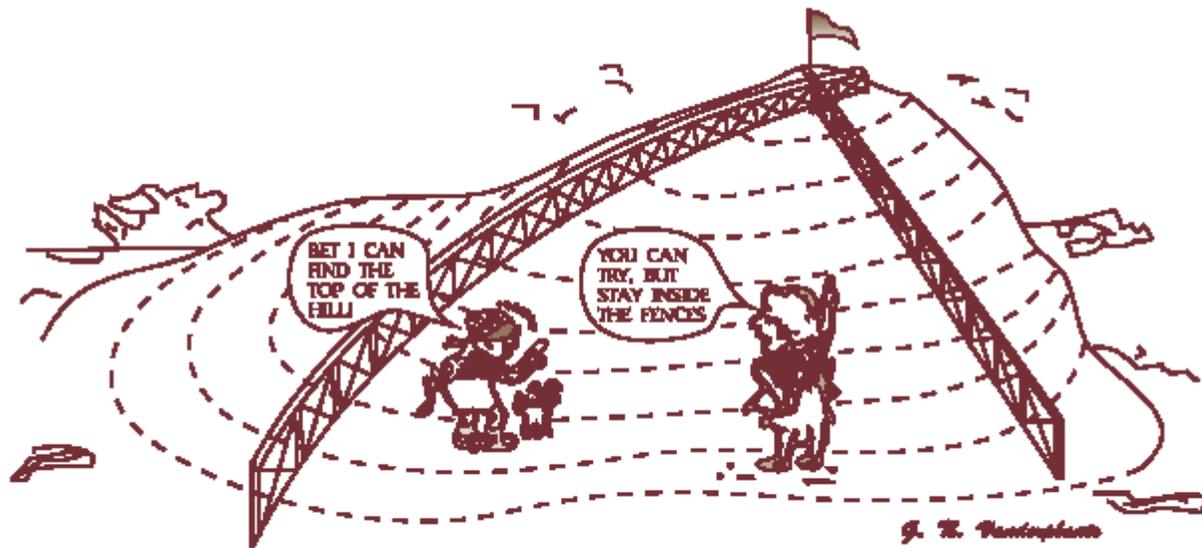
# 飞机总体优化设计的一般过程





# 优化算法

- 在设计变量空间中寻找出一个或若干新的设计方案（设计点），经过多次迭代，寻找到可行设计区域，并逐渐逼近最优设计点。



CONSTRAINED OPTIMIZATION

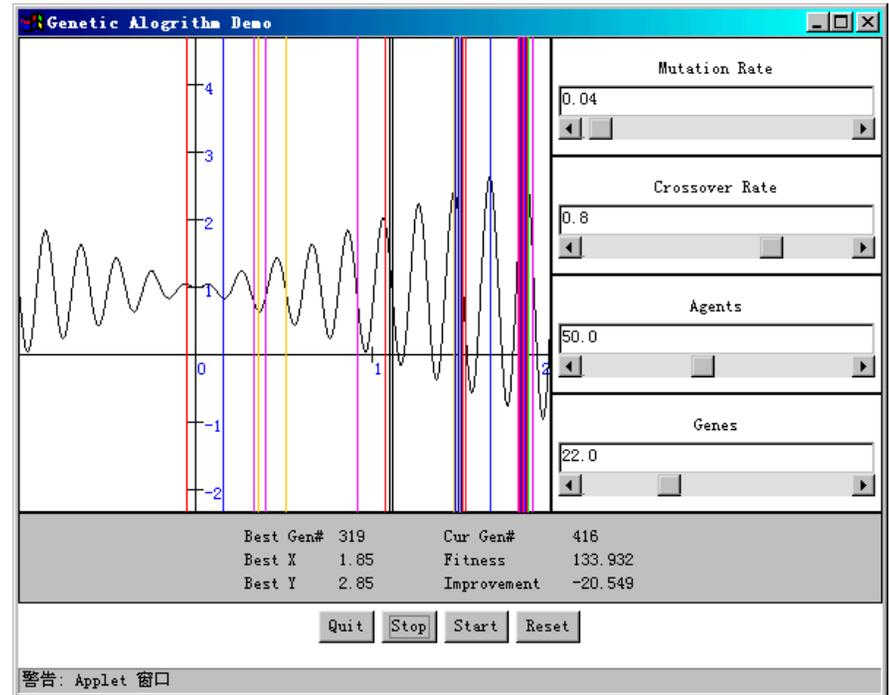
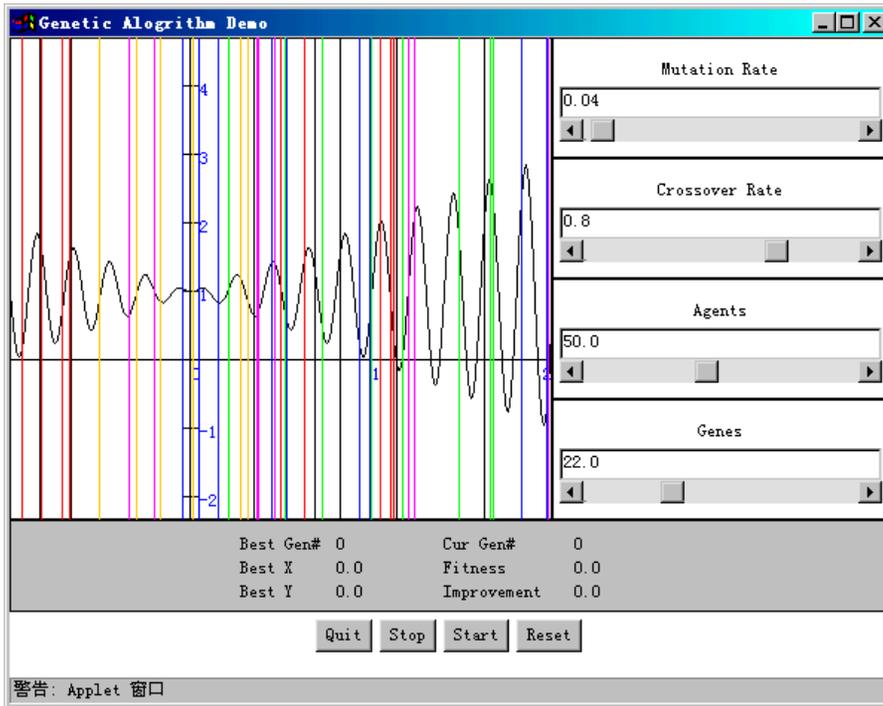


# 优化算法

- 基于梯度的优化算法
  - 需计算目标函数和约束函数的导数
- 直接法
  - 需计算导数
- 基于自然法则的优化算法
  - 遗传算法 (Genetic Algorithm)
  - 模拟退火算法
  - Particle swarm optimization algorithm
  - .....

# 遗传算法

- 一类模拟生物界自然选择和遗传的启发式随机搜索算法。



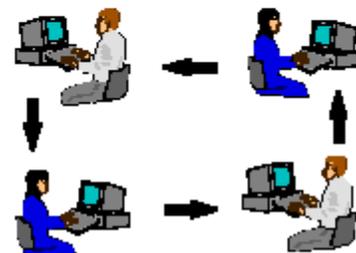
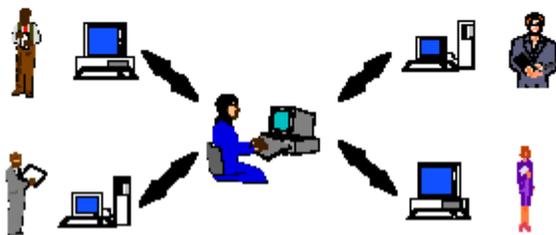


# 几种优化模式

总体参数优化



序列优化设计



## 总体参数优化

- 同时包含气动、结构、推进、性能、隐身等学科
- 分析模型简单
  - 估算公式
  - 包含大量统计数据
  - 适用范围有限
- 没有考虑学科之间耦合效

## 多学科设计优化

- 整体最优
- 采用高精度的分析模型
  - 较少地依赖于统计数据
  - 适用于创新布局
- 平行设计模式
- 分布式计算模式

## 序列优化设计

- 串行模式
- 分析模型的精度较高
- 周期长
- 目前使用的方法

# 多学科设计优化系统

航空宇航学院



211工程  
飞行器学科  
建设项目

