

modeFRONTIER



多目标稳健设计优化软件包



modeFRONTIER 软件由意大利ESTECO公司开发

什么是多目标稳健设计优化？

优化无处不在，优化理念已经渗入到生产和生活的各个领域。上至国家资源优化配置，下至企业追求产品和服务的最高性价比，各行各业都希望达到自己的最优化目标。

优化按照优化目标的个数分为单目标优化和多目标优化。实际的优化问题很少是单目标的，比如追求高性价比是要求在成本低的同时质量好，这就是两个目标优化。多目标优化是提高产品竞争力的重要手段。

多目标优化需要权衡。例如最常见的产品设计优化追求性能最高、成本最低，如下图所示。但任何产品不可能同时实现这两个目标，所以需要在二者之间进行权衡。不同的选择对应不同的最优解，最优解的集合被称为Pareto frontier（帕莱托前沿），如图中粉色曲线所示。多目标优化的目的就是找到Pareto集合。

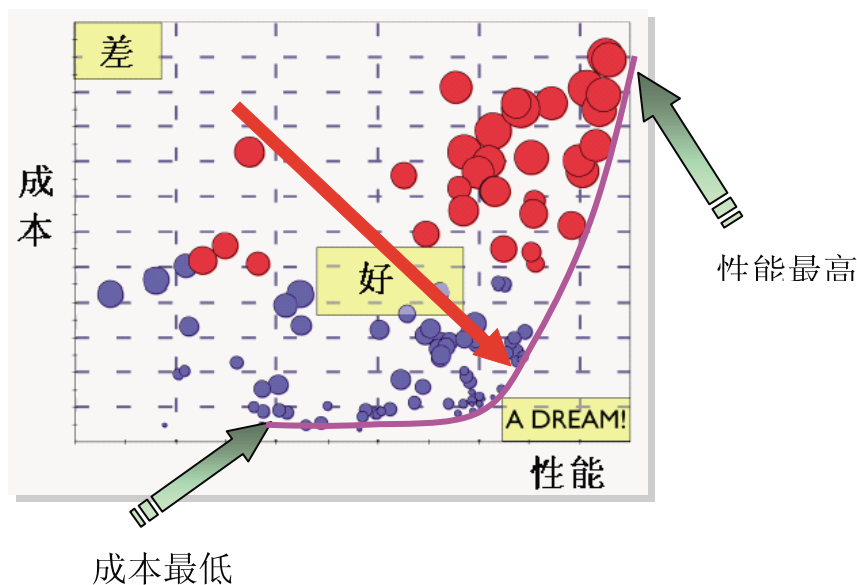


图1 两个目标优化问题：性能最高、成本最低

如果要求得到的解不但是最优的，而且要求它是稳健的（Robust，也称鲁棒性），即在工艺、环境等条件变化导致设计变量发生变化的情况下，产品性能等目标不会发生剧烈变化，也不会落入不可行区域，具有稳健性，这就是多目标稳健设计优化。

modeFRONTIER软件历史

modeFRONTIER的前身是意大利Trieste大学、British Aero Space、Daimler Chrysler Aerospace、Zanussi-Electrolux等公司共同承担的优化系统设计科研项目。

1998年，成立了ES.TEC.O（www.esteco.com）公司，将modeFRONTIER作为科研成果商业化。发布1.0版本。

2000年，modeFRONTIER成为世界上第一个多目标优化软件。发布2.0版本。

2001年，与CD-adapco Japan合作，将modeFRONTIER介绍给日本学术界和工业界，受到业内人士的广泛认同，modeFRONTIER的销售迅猛增长。发布2.4版本。

2002年，增加了多种算法包括FMOGA、FSIMPLEX、SA、NLPQLP。发布2.5版本。

2003年，增加了多目标稳健设计优化功能、与MATLAB/EXCEL直接连接模块、多目标决策功能、多目标模拟退火法、日语界面。发布3.0版本。

2004年，增加了NSGAI、MOGAI等算法，增加直接嵌入Jython、Bean Shell、VBScript、Jscript代码功能。发布3.1.0版本。

2005年，增加了中文界面，与Catia、Openoffice的直接接口。发布3.1.1版本。

2006年，增加了LEVENBERG-MARQUARD (LM)算法和多个功能节点，发布了3.2.0版本。

2008年，发布了全新的4.0版本，增加了矩阵型优化变量节点和优化向导功能，Multi-Objective Particle Swarm(MOPSO)算法，ABAQUS，SciLab，CST Studio Suite软件直接接口，ANOVA，Self-Organizational Map(SOM)等数据统计分析功能，进一步丰富了RSM算法库，软件的整体优化性能得到了进一步升级强化。

从1998年至今，modeFRONTIER用户遍布全世界。主要的汽车生产商都使用modeFRONTIER，如Daimler Chrysler、BMW、Audi、Ferrari、Pirelli、丰田汽车、DENSO、日产汽车、本田技术研究所、五十铃等。船舶设计企业也广泛使用modeFRONTIER，主要应用于航线设计、结构损伤安全性、航行稳定性和流体解析等，如英国Qinetiq、挪威UllmanSails、挪威船舶及海洋工程研究所（MARINTEK）、意大利FINCANTIERI造船、LMG Marin等。航空航天用户有NASA、法国航空空间研究局、欧洲航空防务与空间公司、英宇航BAE Systems等。使用modeFRONTIER的电子企业有三星、伊莱克斯电气、法国AirLiquide、松下电器、三菱电机、东芝等。国外的慕尼黑工业大学、柏林工业大学、英格兰南安普敦大学、雅典国立大学、丹麦大学、日内瓦大学、横滨国立大学、早稻田大学、东北大学等。国内的用户如清华大学、吉林大学、扎努西电器机械天津压缩机有限公司（意大利）等。

ES.TEC.O公司具有深厚的学术基础和很强的研发能力，因此软件的发展和更新速度都非常快。ES.TEC.O公司与客户的共同努力造就了modeFRONTIER今日的成功。

modeFRONTIER的优化过程

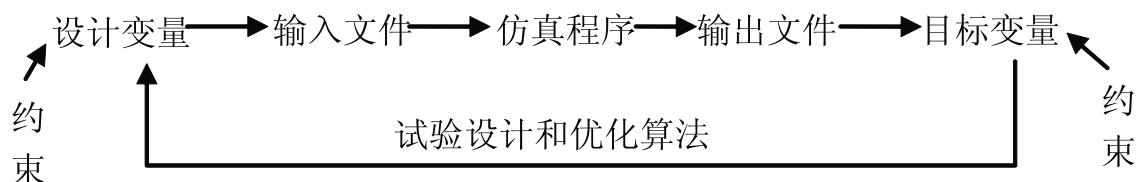


图2 modeFRONTIER的优化过程

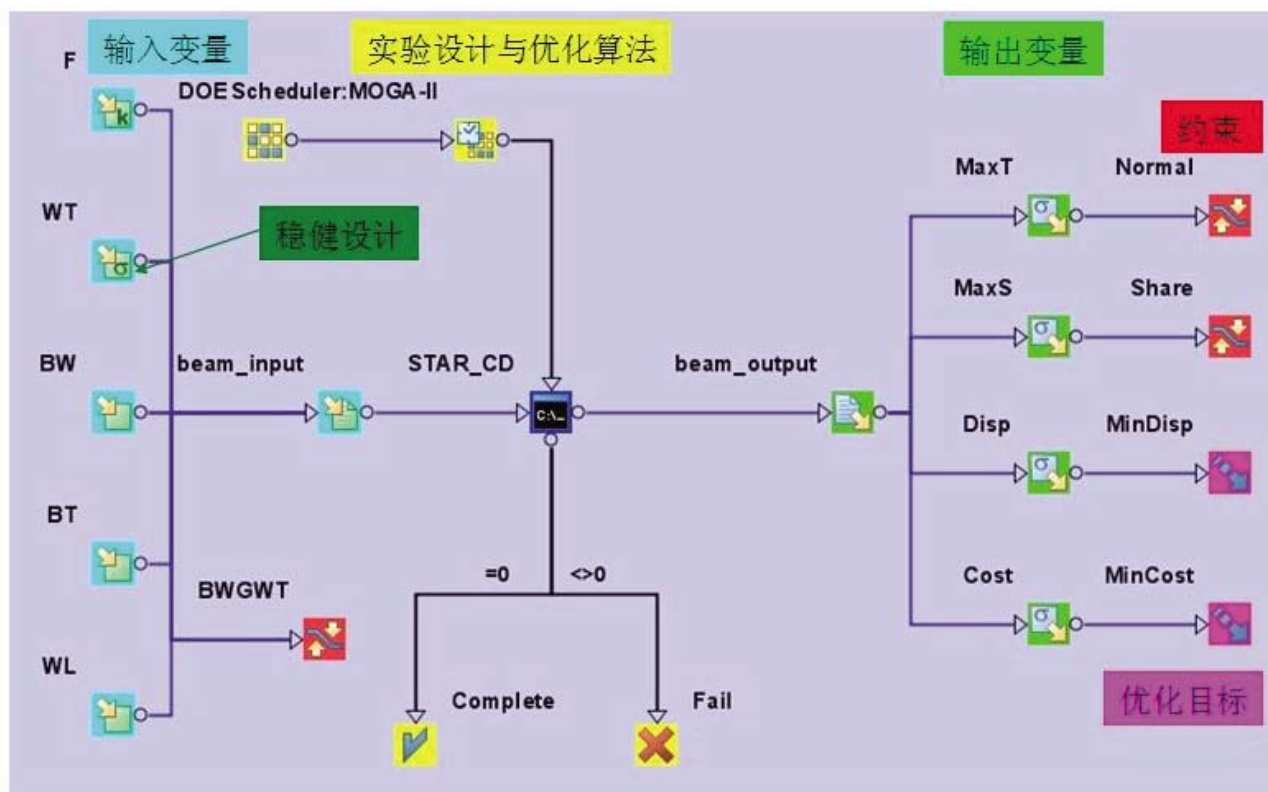


图3 modeFRONTIER的工作流程图

上图是modeFRONTIER的工作流程图，从左到右依次是输入变量、输入文件、约束、输出文件、输出变量、试验设计（DOE）、多目标遗传算法（MOGA）的图标。汉字是标注。

在modeFRONTIER中，用户可以轻松设置图标的颜色、大小、方向。将同一类型的图标定义成同种颜色容易区分，如图3。

modeFRONTIER软件功能介绍

modeFRONTIER是功能最为强大的优化软件，它不但包含丰富高效的算法，而且还为用户提供人性化的友好界面和强大的后处理工具。

友好的界面

打开modeFRONTIER，您会觉得它的界面简单直观、易于使用。通过一个小例子，就可轻松掌握modeFRONTIER的使用方法。

在modeFRONTIER中主要有三个窗口，图4（a）是第一个窗口，称为工作流程图窗口（Work Flow）。左侧是输入变量、输出变量、约束、目标函数、可执行程序、并行、转折、结束的图标。用户建立工作流程图时，只需用鼠标选择图标，放在右侧的工作区域中即可。

第二个窗口是运行记录（Run logs）窗口，如图4（b）所示。默认情况下，窗口显示运行程序的信息，如运行时间、设计标号、是否出错、是否可行。单击窗口上方的按钮可以显示更多信息，如单击Project显示工作目录、项目名称、创建时间、操作系统、使用响应面的情况、出错的设计点等工程本身和程序运行的信息；History是默认窗口；Scheduler显示优化信息；Designs显示设计点信息；Robust Des显示稳健设计信息。

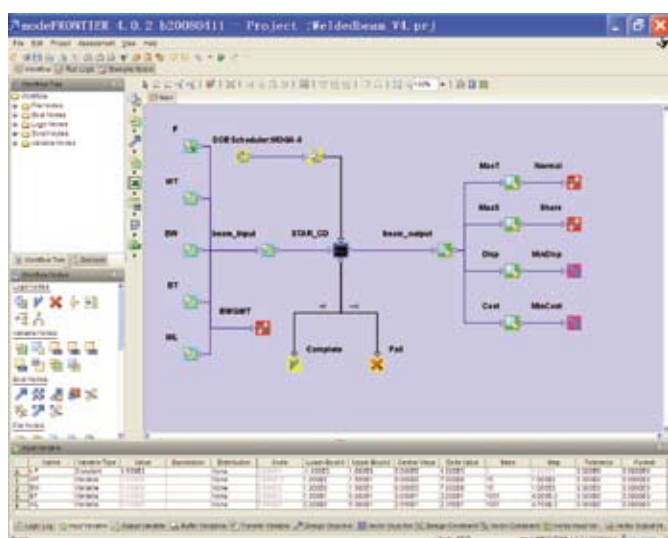
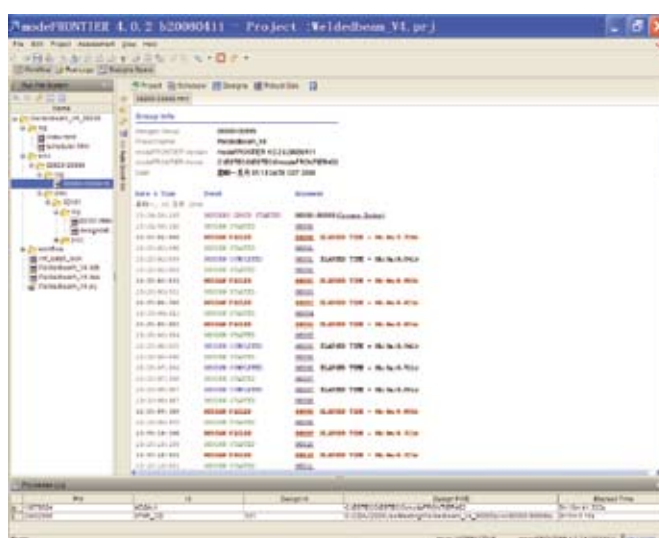


图4(a) Work Flow窗口



Run	Design	Status	Comments
1	1	Success	Initial Design
2	2	Success	Design 2
3	3	Success	Design 3
4	4	Success	Design 4
5	5	Success	Design 5
6	6	Success	Design 6
7	7	Success	Design 7
8	8	Success	Design 8
9	9	Success	Design 9
10	10	Success	Design 10
11	11	Success	Design 11
12	12	Success	Design 12
13	13	Success	Design 13
14	14	Success	Design 14
15	15	Success	Design 15
16	16	Success	Design 16
17	17	Success	Design 17
18	18	Success	Design 18
19	19	Success	Design 19
20	20	Success	Design 20
21	21	Success	Design 21
22	22	Success	Design 22
23	23	Success	Design 23
24	24	Success	Design 24
25	25	Success	Design 25
26	26	Success	Design 26
27	27	Success	Design 27
28	28	Success	Design 28
29	29	Success	Design 29
30	30	Success	Design 30
31	31	Success	Design 31
32	32	Success	Design 32
33	33	Success	Design 33
34	34	Success	Design 34
35	35	Success	Design 35
36	36	Success	Design 36
37	37	Success	Design 37
38	38	Success	Design 38
39	39	Success	Design 39
40	40	Success	Design 40
41	41	Success	Design 41
42	42	Success	Design 42
43	43	Success	Design 43
44	44	Success	Design 44
45	45	Success	Design 45
46	46	Success	Design 46
47	47	Success	Design 47
48	48	Success	Design 48
49	49	Success	Design 49
50	50	Success	Design 50
51	51	Success	Design 51
52	52	Success	Design 52
53	53	Success	Design 53
54	54	Success	Design 54
55	55	Success	Design 55
56	56	Success	Design 56
57	57	Success	Design 57
58	58	Success	Design 58
59	59	Success	Design 59
60	60	Success	Design 60
61	61	Success	Design 61
62	62	Success	Design 62
63	63	Success	Design 63
64	64	Success	Design 64
65	65	Success	Design 65
66	66	Success	Design 66
67	67	Success	Design 67
68	68	Success	Design 68
69	69	Success	Design 69
70	70	Success	Design 70
71	71	Success	Design 71
72	72	Success	Design 72
73	73	Success	Design 73
74	74	Success	Design 74
75	75	Success	Design 75
76	76	Success	Design 76
77	77	Success	Design 77
78	78	Success	Design 78
79	79	Success	Design 79
80	80	Success	Design 80
81	81	Success	Design 81
82	82	Success	Design 82
83	83	Success	Design 83
84	84	Success	Design 84
85	85	Success	Design 85
86	86	Success	Design 86
87	87	Success	Design 87
88	88	Success	Design 88
89	89	Success	Design 89
90	90	Success	Design 90
91	91	Success	Design 91
92	92	Success	Design 92
93	93	Success	Design 93
94	94	Success	Design 94
95	95	Success	Design 95
96	96	Success	Design 96
97	97	Success	Design 97
98	98	Success	Design 98
99	99	Success	Design 99
100	100	Success	Design 100

图4(b) Run logs窗口

第三个窗口是Designs Space，所有的后处理都在这里进行。

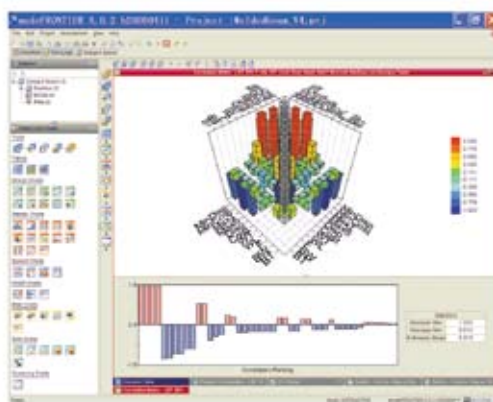


图4(c) Designs Space窗口

高效的算法

modeFRONTIER独具的特点是将高质量的试验设计、优化算法、响应面分析、稳健设计完美的结合在一起，而不是孤立地考虑各个部分。

1. **试验设计 (DOE)**。这是进行优化、响应面分析、稳健设计的基础，其目的是通过对可行性设计空间进行采样，以获得设计空间的信息，还为优化算法提供初始解集。modeFRONTIER有14种DOE方法，满足各种要求。它们是用户自定义法、随机序列法、约束满足问题 (CSP) 法、Sobol序列法、蒙特卡罗法、全因子法、简因子法、面心立方方法、Box-Behnken法、拉丁方法、田口矩阵法、PB法、最优性法、交叉验证法。每种方法都有各自的特点和适用情况，较常用的试验设计方法是用户自定义法、随机序列法、Sobol序列法。

1) 用户自定义法。这种方法有两个用途，首先，用户可以直接输入数值定义试验设计点。该方法更大的用处在于用户可以在经过优化步骤得到结果后将一部分结果（如Pareto解）作为初始点，进一步优化；或者将Excel表格中的试验数据直接粘贴到试验设计的表格中，进行优化，此法非常方便。

2) 一致随机序列法。图5 (a)，随机序列法在设计变量X的范围内均匀采样。值得一提的是这种方法具有“去掉不可行解”选项。在输入变量存在约束时，设计空间中会存在不可行区域，任何一种采样方式都会不可避免地采到不可行解，选中“去除不可行解”选项可以过滤掉不满足输入约束的不可行解。

3) Sobol序列法。这种方法也是随机序列法的一种，它与一致随机序列法的区别在于Sobol序列法的采样更均匀。图5 (b) 是Sobol序列与随机序列的区别。

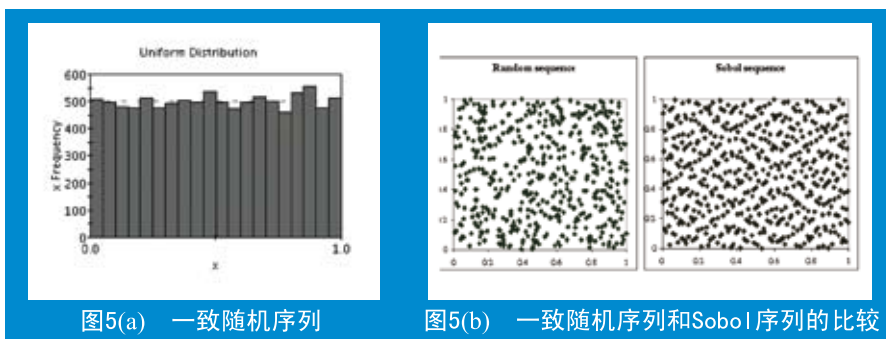


图5(a) 一致随机序列

图5(b) 一致随机序列和Sobol序列的比较

2. 优化算法。按优化目标的个数，优化分为单目标优化和多目标优化两种。modeFRONTIER有8种单目标优化算法（SIMPLEX、B-BFGS、FSIMPLEX、MACK、DES、NLPQLP、1+1-ES、LEVENBERG-MARQUARD (LM)）和9种多目标优化算法（MOGAI、MOSA、FMOSAI、MMES、NBI-NLPQLPI、MOGT、NSGA-II、ARMOGA、MOPSO）。实际的问题几乎都是多目标的，所以modeFRONTIER提供的多种多目标优化解决方案能够满足客户多方面的要求。而且经过比较，这些算法在技术上具有绝对领先地位。

评判多目标遗传算法优劣的标准有三个：收敛速度、搜索范围、精度。

NLPQLP-NBI (Normal Boundary Intersection) 只需很少的步数就能得到Pareto的轮廓线，这种方法用于优化初期。即先得到粗略的Pareto曲线或曲面，再对局部区域应用其它优化算法进行精确优化。

NSGAII具有快速搜索的优点，但对于Pareto不连续的问题，它的搜索能力不如MOGAI。

多目标算法中最常用的是多目标遗传算法（MOGAI），MOGAI除了具有普通遗传算法的特点之外，还包括自主开发的技术，比上一版本的MOGA收敛速度更快、搜索范围更广、精度更高，尤其对于Pareto不连续的情况比NSGAII性能优越。用户还可以定义选择、杂交、变异概率等参数，充分体现了modeFRONTIER开放、交互的特点。对复杂的仿真模型可以使用加速的MOGAI——FMOGAI，FMOGAI是使用响应面模型的多目标遗传算法。

3. 响应面分析（RSM）。响应面分析的原理是根据现有的计算结果构造输入和输出之间的关系，响应面的功能是大大减少总优化时间。对于计算时间较长的仿真程序，将响应面分析与真实计算相结合可以大大加快优化速度。而且，modeFRONTIER还允许用户定义用真实仿真程序计算或用响应面计算的比例，给用户带来极大方便。

modeFRONTIER有7种响应面分析方法，分别是用户自定义法、SVD法、K最近法、Kriging法、各向异性Kriging法、参数法、高斯法、神经网络法、Radial Basis Functions。前四种是比较基本的响应面方法，K最近法和Kriging法都能得到较好的响应面。对于复杂的、非多项式响应面，高斯法是最佳选择。高斯法也是modeFRONTIER响应面中的独特方法。

有些用户想用modeFRONTIER建立实验数据的响应面，这在modeFRONTIER里可以轻松实现。因为modeFRONTIER与外部交换数据非常容易，最常用的就是通过Excel表格，用户只需将数据导入modeFRONTIER就可以建立响应面模型了。

4. 稳健设计。稳健性设计优化指的是提高目标变量对设计变量的抗干扰能力，即设计变量受到干扰发生变化时，目标不会发生剧烈变化。如图6所示，虽然绝对最优点是A点，但它不是稳健最优的，进行稳健优化后会找到稳健最优点——B点。

modeFRONTIER稳健设计的独特之处在于用户可以直接对设计目标的均值和方差操作（将它们作为设计目标或对它们施加约束），而不是程序自动将目标的均值和方差加权成为目标，具有高度的灵活性和可操控性。

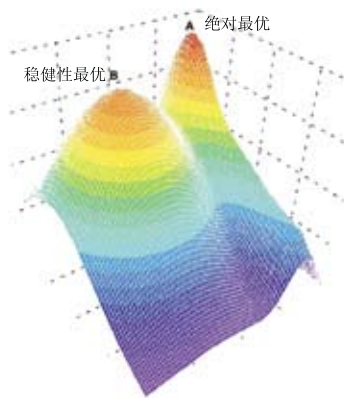


图6 稳健性设计优化

强大的后处理

modeFRONTIER的后处理可以提供多种图表制作功能，如图7。



图7 modeFRONTIER的后处理

1. **Design Table:** 所有设计点的数据表。黄色行表示计算后违反输出约束的设计点数据，其中桔黄色表示所违反的约束；粉色行表示计算前违反输入约束的设计点数据，可以选择是否计算这些设计点，如果不计算，那么输出数据将为空，如图8。

ID	RID	M	CATEGORY	WT	SV	F	WL	WT	Cost	Disp	MaxS	MaxT	MinCost	MinDisp	SV
0			RND00E	3.9240E1	7.0000E0	1.5000E2	1.2729E1	5.0000E0	6.2790E2	4.2221E-4	=	=	6.2790E2	4.2221E-4	2.0
1			RND00E	4.7920E1	1.5000E1	1.5000E2	2.1659E1	6.0000E0	1.6542E3	1.0819E-4	6.0443E0	2.6100E0	1.6542E3	1.0819E-4	9.0
2			RND00E	3.7800E1	1.3000E1	1.5000E2	3.2350E1	6.0000E0	7.1430E2	2.5433E-4	=	=	7.1430E2	2.5433E-4	5.0
3			RND00E	3.3080E1	4.0000E0	1.5000E2	3.2261E1	3.0000E0	4.6560E2	1.2333E-3	=	=	4.6560E2	1.2333E-3	1.0
4			RND00E	2.7280E1	4.0000E0	1.5000E2	4.4830E1	1.0000E0	2.0290E2	2.1990E-3	=	=	2.0290E2	2.1990E-3	3.0
5			RND00E	3.5240E1	1.4000E1	1.5000E2	2.6976E1	8.0000E0	2.3460E2	2.9146E-4	4.0040E0	5.1900E0	2.3460E2	2.9146E-4	6.0
6			RND00E	3.3520E1	1.2000E1	1.5000E2	3.5853E1	4.0000E0	1.1201E3	3.9511E-4	7.2775E0	6.6800E0	1.1201E3	3.9511E-4	8.0
7			RND00E	4.2160E1	1.3000E1	1.5000E2	1.0661E1	1.0000E1	1.6726E3	1.8330E-4	8.0763E0	3.8900E0	1.6726E3	1.8330E-4	3.0
8			RND00E	1.6120E1	1.1000E1	1.5000E2	4.1728E1	2.0000E0	4.1820E2	3.8755E-3	=	=	4.1820E2	3.8755E-3	9.0
9			RND00E	1.1120E1	9.0000E0	1.5000E2	6.4310E0	2.0000E0	1.3220E2	1.4430E-2	=	=	1.3220E2	1.4430E-2	7.0
10			RND00E	2.9760E1	7.0000E0	1.5000E2	2.0672E1	5.0000E0	9.5270E2	4.0506E-4	=	=	9.5270E2	4.0506E-4	2.0
11			RND00E	3.9200E1	1.4000E1	1.5000E2	5.0210E0	7.0000E0	9.2240E2	2.1175E-4	=	=	9.2240E2	2.1175E-4	7.0
12			RND00E	4.4520E1	1.4000E1	1.5000E2	5.9140E0	1.2000E1	1.5118E3	1.4455E-4	=	=	1.5118E3	1.4455E-4	2.0
13			RND00E	2.7120E1	1.5000E1	1.5000E2	5.9670E0	9.0000E0	9.0590E2	5.9693E-4	=	=	9.0590E2	5.9693E-4	6.0
14			RND00E	3.2680E1	1.0000E1	1.5000E2	4.5676E1	4.0000E0	1.2069E3	5.1184E-4	7.1371E0	8.4300E0	1.2069E3	5.1184E-4	6.0
15			RND00E	1.9920E1	1.1000E1	1.5000E2	1.8996E1	1.0000E1	2.1491E3	2.0539E-3	5.5947E0	2.0620E1	2.1491E3	2.0539E-3	1.0
16			MOGA2	3.9120E1	7.0000E0	1.5000E2	1.2729E1	5.0000E0	6.2690E2	4.2611E-4	=	=	6.2690E2	4.2611E-4	2.0

图8 Design Table

2. DOE Table: 此表显示的数据与在在工作流程图中双击DOE图标看到的数据相同, 此表为用户导入数据提供了极大方便, 用户也可以用部分计算结果作为DOE初始点, 如图9。

3. Robust Design Table: 此表不但显示所有设计点的数据, 而且还显示每个目标的平均值和方差, 充分体现了modeFRONTIER软件透明、开放的理念, 如图10。

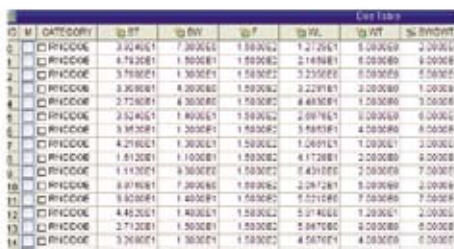


图9 DOE Table



图10 Robust Design Table

4. History Chart历史图: 分为单变量历史图 和多变量历史图 两种, 分别如图11 (a) 和 (c) 所示。历史图可以显示一个或几个变量的变化情况。

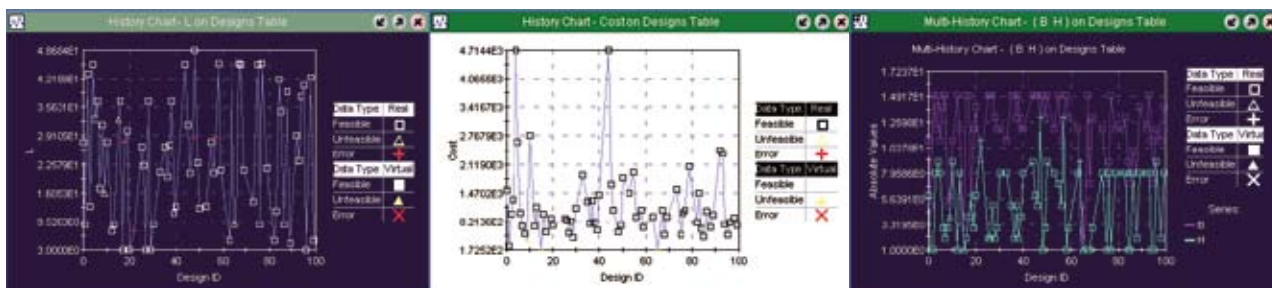


图11(a)

图11(b)

图11(c)

* 用户还可以修改图片的颜色, 比如将背景改成白色等, 如图11 (b) 所示。

5. Scatter Chart离散图: 分为二维离散图 和三维离散图 两种。

二维离散图对多目标优化是必不可少的, 因为利用它可以得到清晰的Pareto前沿。如下图所示, Cost和Disp的目标都是最小。用二维离散图显示Cost和Disp, 点集中处为Pareto前沿。

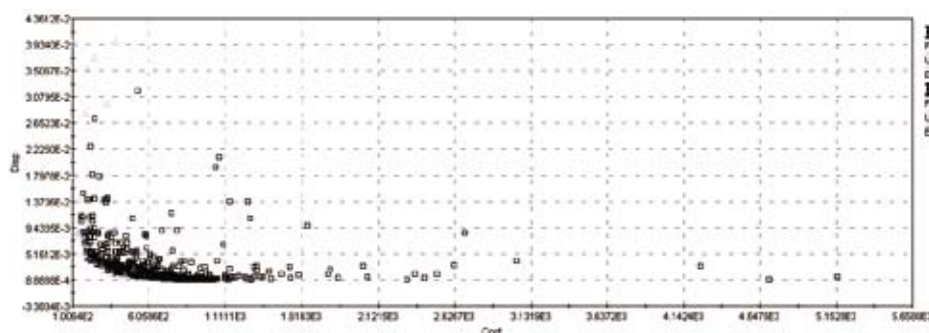


图12 离散图

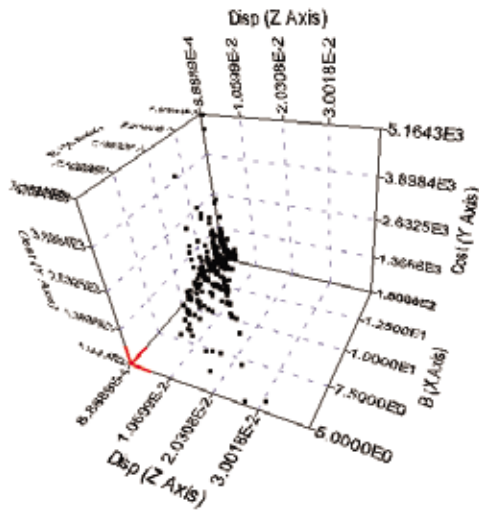


图12 (a) 三维离散图

三维离散图用于勾勒出Pareto曲面的轮廓，如图12 (a)

6. Parallel折线图：折线图可以同时包含输入和输出变量，每个设计点对应一条线。Parallel图的独特之处在于它可以过滤数据，通过鼠标拖动紫色的滑块，所见即所得的留下最好解，如图13(b)。

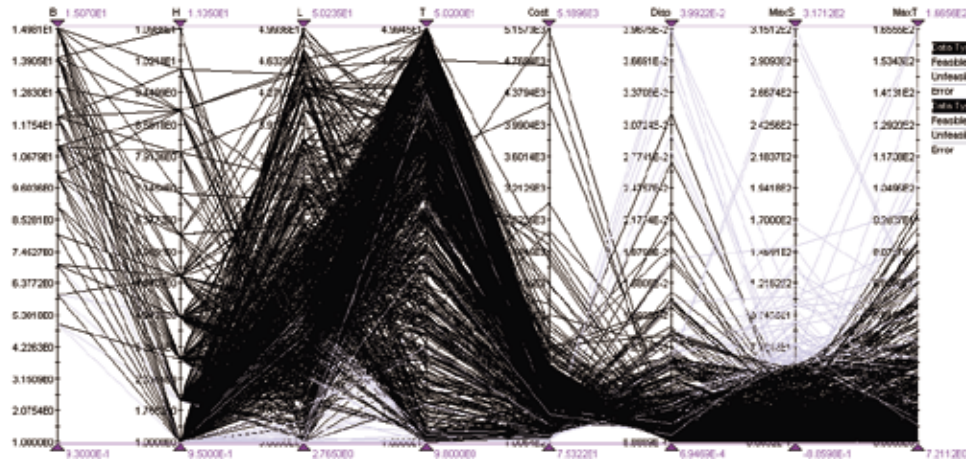


图13 (a) Parallel图

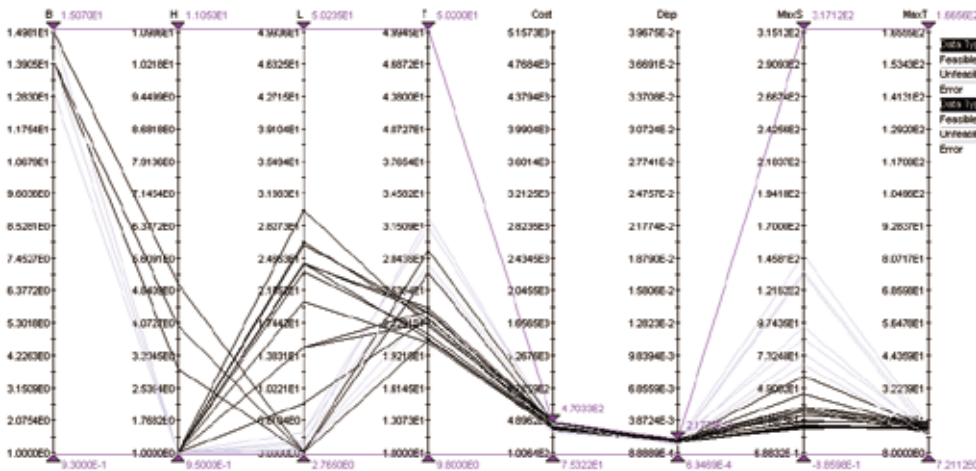


图13 (b) 使用Parallel图过滤功能

7. **Bubble气泡图**：可显示三维信息，也可直接读出横坐标和纵坐标的数值，点的大小与第三个变量的值成正比，如图14。新版本的Bubble图还可看到遗传算法的进化过程。

Bubble图与Scatter图的区别有二，一是设计点的符号不同，Scatter图符号非圆形，而Bubble图都是圆形。二是Scatter图显示的是二维信息，即横纵坐标代表的两个变量之间的关系，Bubble图则用圆形的大小表示了第三个变量值的信息。

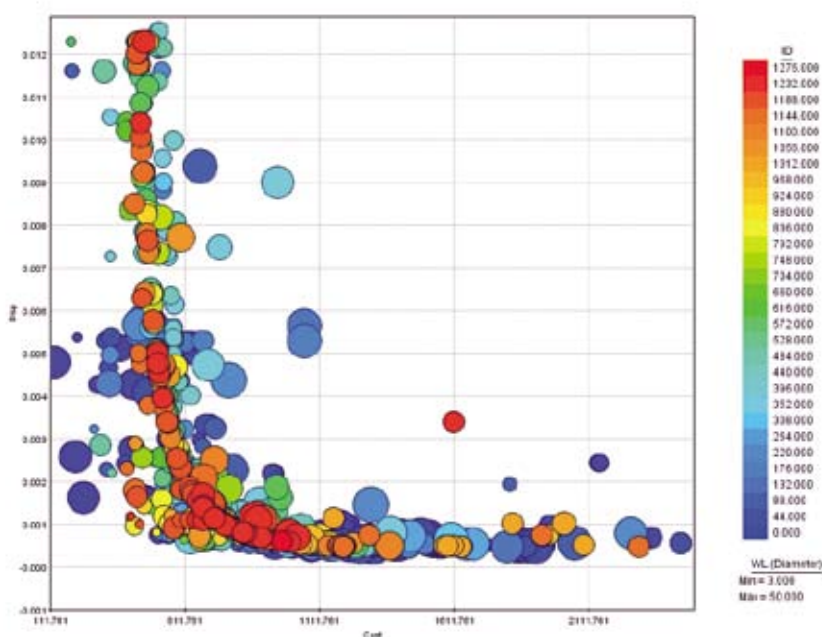


图14 Bubble图

8. **Frequency Chart频率图**：输入或输出变量在取值范围内出现频率的直方图。

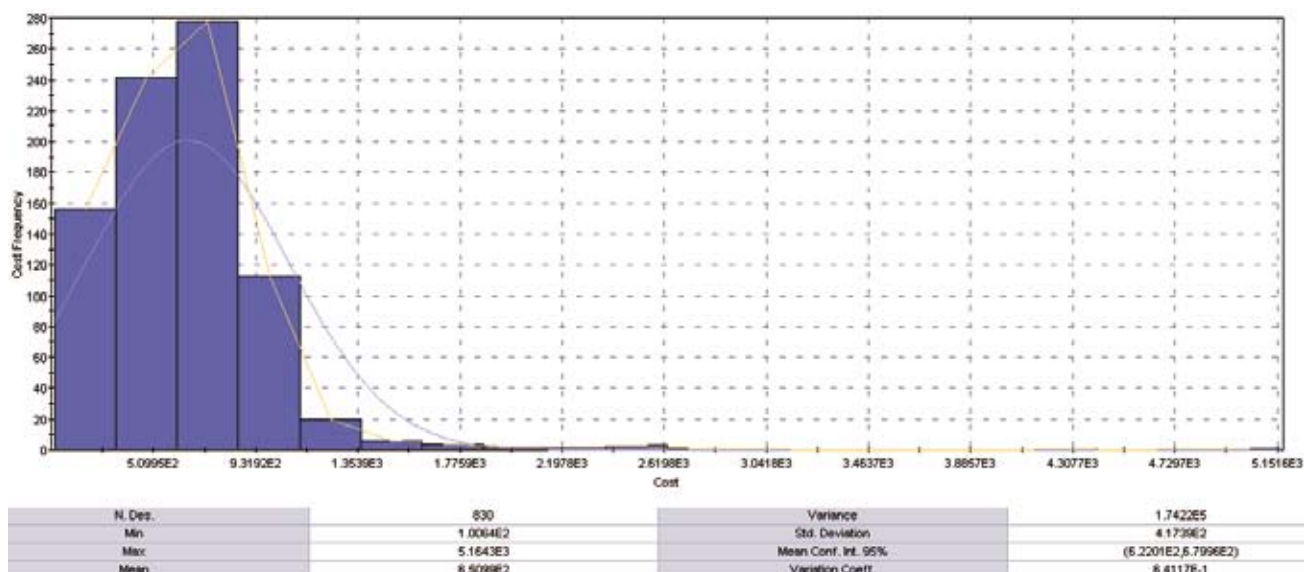


图15 Frequency Chart图

9. Student Chart经验图：画出输入变量对输出变量的影响。对于没有经验问题，Student Chart相当于给出经验，即输入对输出的影响程度。对于有一定经验的问题，Student Chart可给出量化的“经验”。

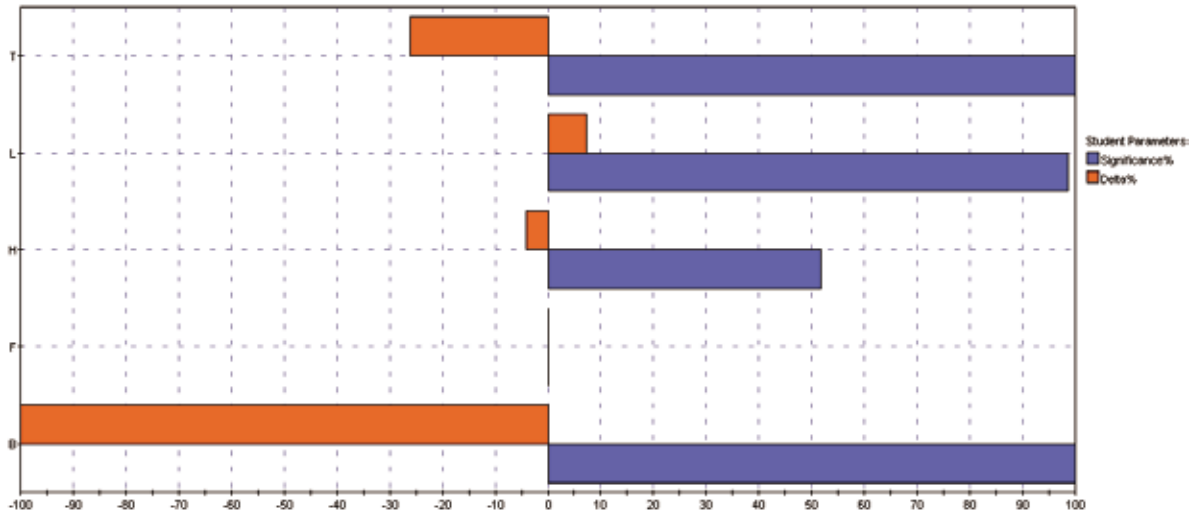


图16 Student Chart图

10. Correlation 3D Chart三维关系图：关系图显示输入变量之间、输出变量之间或输入输出变量之间的关系。红色为正值，表示正比关系，蓝色为负值，表示反比关系。

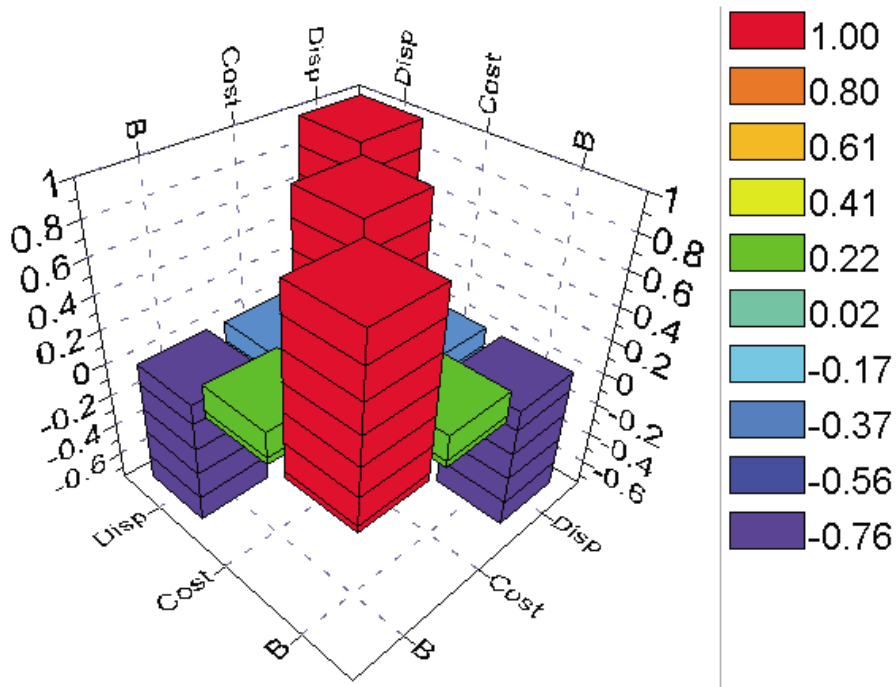


图17 三维关系图

11. Broken Constrains Chart违反约束图：显示所有约束的违反情况，违反的次数越多的饼图的比例也就越大。

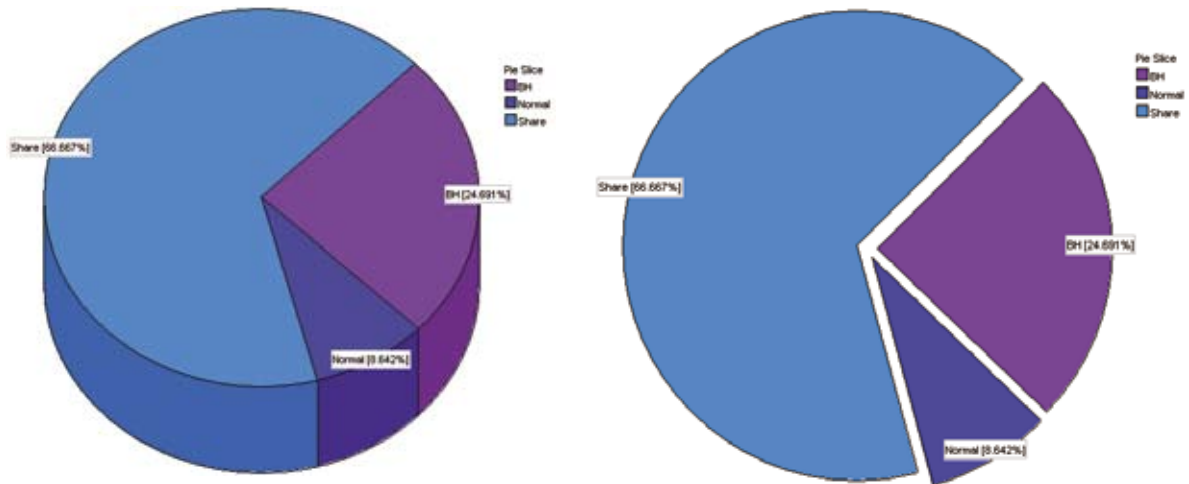


图18 违反约束图

12. 五种RSM图：查看关于响应面的信息。

图19 (a) 是RSM Coefficients Chart, RSM Distance Chart, RSM Residual Chart 的组合。RSM Explore Chart, 如图19(d), 显示任意两个输入变量和目标函数的曲面关系曲面。

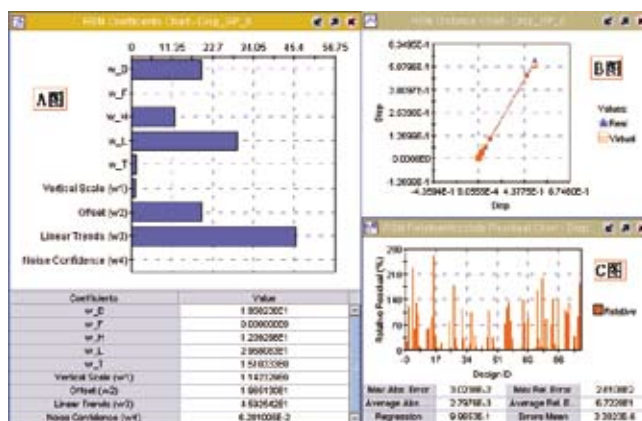


图19(a) 响应面图

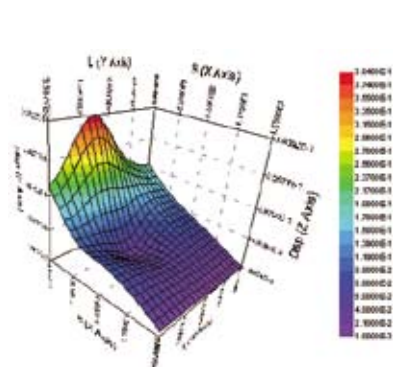


图19(d)

13.多准则权衡图：设置好多准则权衡的数据、偏好之后，就可以得到MCDM Utility Chart，如图20(a)显示MCDM信息。MCDM Rank Chart 显示在某种偏好情况下，各个数据点的排名，如图20(b)。

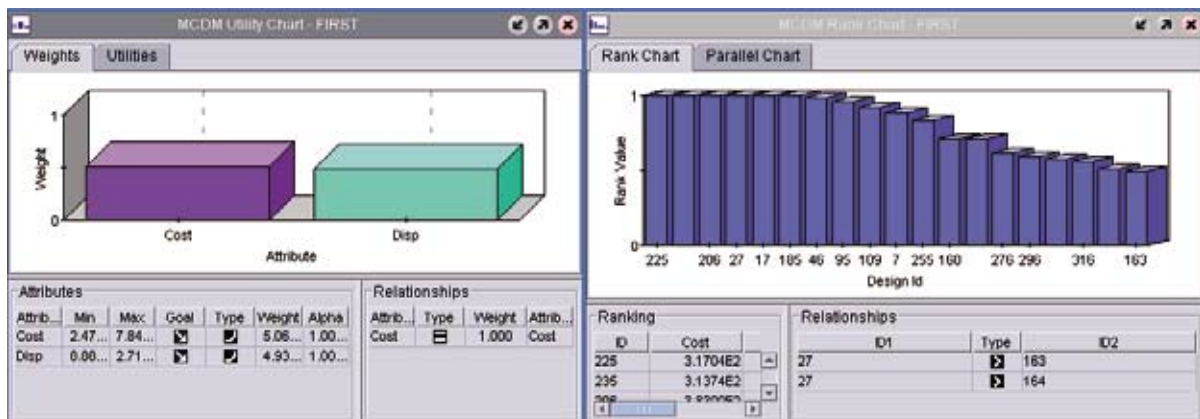


图20(a) MCDM Utility Chart

图20 (b) MCDM Rank Chart响应面图

14.SOM图      和ANOVA相关工具：可以利用先进的SOM图进行大容量数据的分析以及变异数分析并可自动生成完整的分析报告。

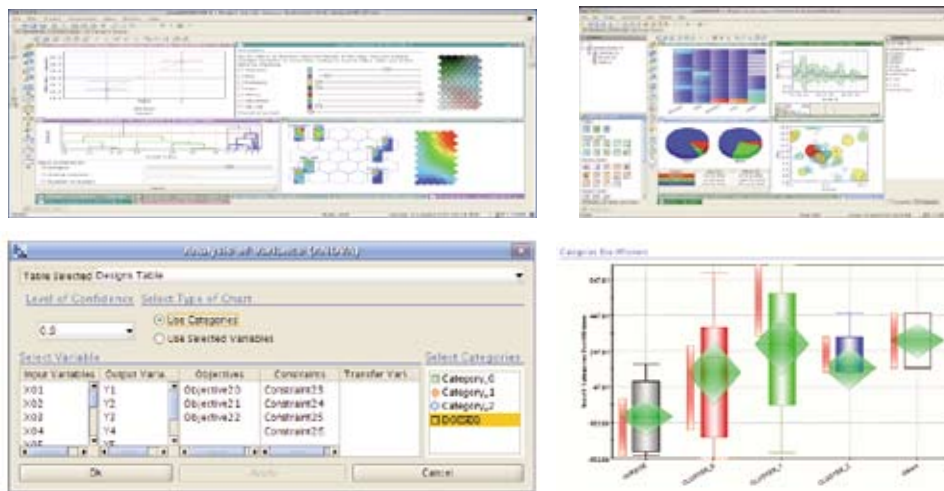
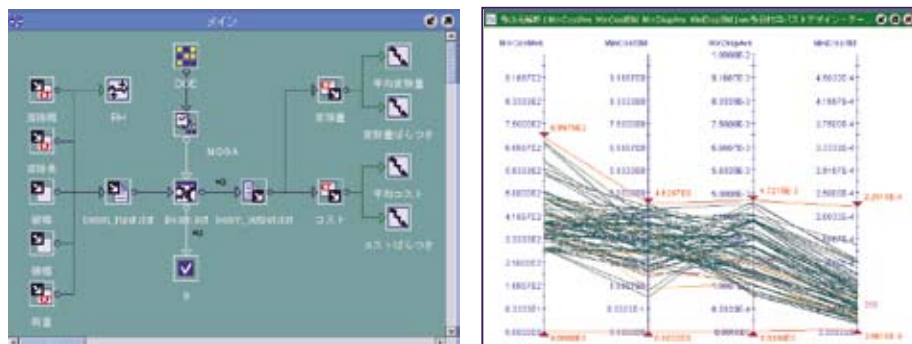


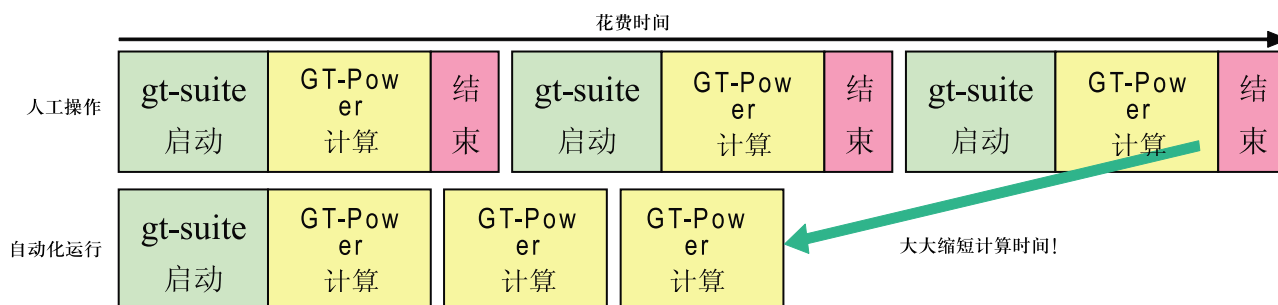
图21 SOM图和ANOVA分析工具

总结：选择modeFRONTIER的十大理由

- 界面直观，易于使用



自动化运行，节省时间



• 强大的集成功能

可以集成Star-CD、GT-Power、ICEM、Paramesh、Marc、Matlab、Simulink、Nastran、Patran、Excel、ANSYS、LS-Dyna、ABAQUS、Adams、Flowmaster、AMESim、CATIA V5、CFX、Condor、FEMLAB、FLUENT、GAMBIT、Grid Engine、LoadLeveler、AVL-Boost、LSF、Magma、NQS、Wave、Winbatch、CADFix、CADmould、PRO-II、Aspenplus等。

• 丰富的算法库

14种试验设计方法；
17种优化方法，8种单目标优化，9种多目标优化；
7种响应面分析方法；
通用稳健设计功能与算法。

- 多目标优化的多准则权衡MCDM功能，给出Pareto最优解。
- 具有并行和分布式计算功能。
- 软件由java开发，可以跨平台运行。
- 具有Matlab/Simulink、Excel、Catia、UG、SolidWorks、Pro/E、Openoffice、Ansys Workbench、AMESim、AVL AWS、ABAQUS、MADYMO、CST Studio Suite等的直接接口。具有插件接口，modeFRONTIER允许客户轻松集成和使用第三方优化算法。
- 稳健设计功能。
- 强大的后处理。

应用领域

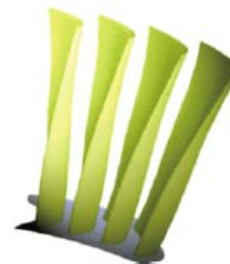
内燃机系统

- 进气管三维优化
- 排气管三维优化
- 发动机性能优化
- 曲轴传动振动优化
- 可变气门正时系统
- 实时控制系统的自动校正



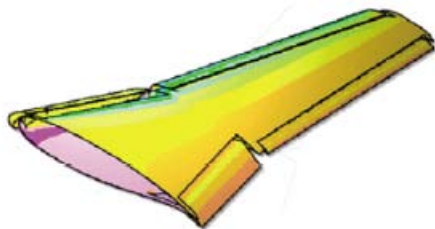
叶轮机械稳态和非稳态优化

- 离心涡轮、离心压缩机三维优化
- 轴流式涡轮、轴流式压缩机三维优化



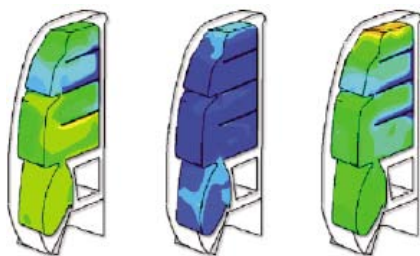
航空航天

- 机翼流体/结构耦合优化
- 襟翼开缝和机翼位置优化
- 襟翼配置优化
- 翼形优化
- 喷气式导弹优化
- 高超音速飞机的外形优



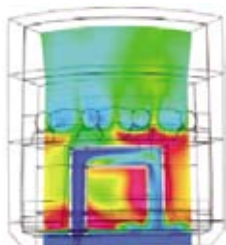
HVAC和设备

- 热交换器的散热片设计
- 冰箱结构散热优化...



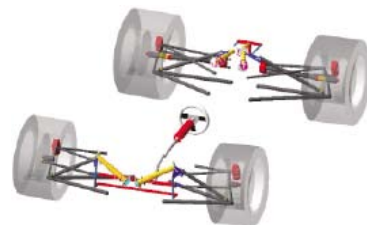
燃烧

- 燃气轮机燃烧室优化
- 复杂化学反应
- 燃烧器优化设计



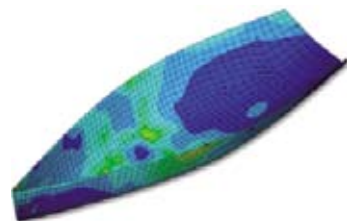
多体、碰撞、结构、振动、声学

- 汽车制动系统优化
- 汽车舒适性优化
- 赛车悬架优化
- 电磁伺服系统优化
- 碰撞安全性优化



船舶

- 船体设计
- 浪涌最小化优化
- 三维船体稳定性优化
- 帆船船体结构优化设计



生产

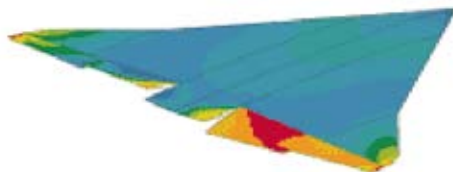
- 宇航
- 汽车零件的注塑生产过程优化
- 板金成形和热加工成型优化



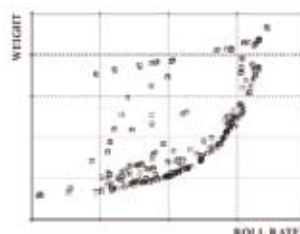
案例

X31机翼襟翼开缝和位置优化

- 设计目标：
旋转角加速度最大，机翼质量最小。
- 设计变量：
襟翼开缝：离散变量
襟翼位置：两个连续变量
- 集成软件：HISSE-D和LAGRANGE
使用MOGA算法，用64个个体，8代进化就可以精确描述Pareto最优解的前沿。
* 引自：NATO meeting on Aerodynamic Design and Optimisation of Flight Vehicles in a Concurrent Multi-Disciplinary Environment Ottawa (Canada), 21-22 October 1999.



样翼压力系数分布



■ 超音速飞机翼形优化

优化问题：在飞行条件发生变化时，稳定后的张力的翼形优化。

飞行条件变化：

马赫数0.8，标准差0.025

攻角 1.0° ，标准差 0.5°

● 设计变量

决定翼形的点有18个

马赫数，攻角

● 设计目标

升阻比 Cl/Cd 的平均最大化

升阻比 Cl/Cd 的标准差的最小化

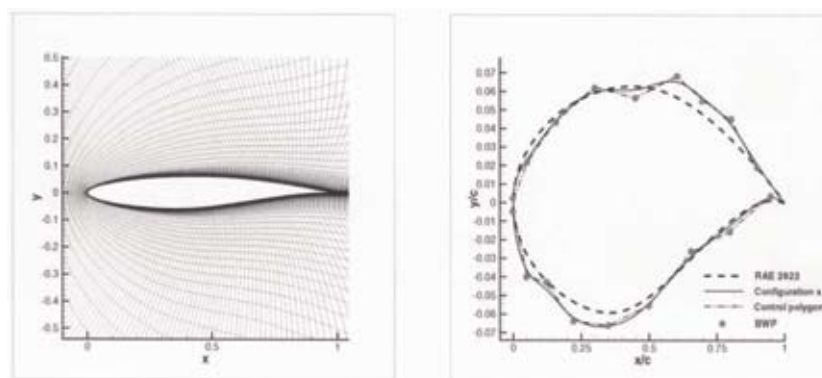
● 约束条件

关于决定翼形控制点的设定

改变机翼形状（设计变量）

下图是Royal Aircraft Establishment使用的RA2822机型。上翼面9

点变化，下翼面9点变化。用Spline插值改变机翼形状。



■ Electrolux冰箱优化

● 设计目标：

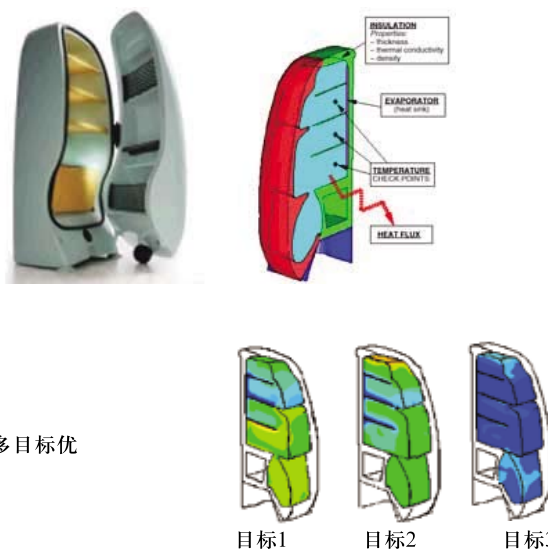
1. 冰箱内温度均匀性最好
2. 热流量最小
3. 蒸发器最小

● 集成软件：Star-CD

● 设计变量：

1. 不同储藏室的绝缘板厚度
2. 绝缘板整体性能
3. 蒸发器的大小和位置

使用modeFRONTIER的MOGA算法找到了对应于3个设计目标的多目标优化Pareto解。



■ 喷水推进器入口形状优化

● 设计目标：实现最优的入口形状压力分布。

● 集成软件：Star-CD

● 设计变量：形状参数，共40个

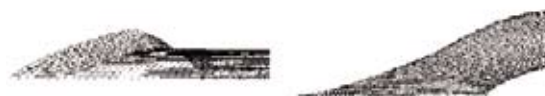
使用MOGA算法，共使用64个个体，8代，得到Pareto解集。

优化结果：结构非对称最佳！

*引自：*Giurgevich, A., Mosetti, G. and Poloni, C., Multi-Objective Design Optimisation of a Water-Jet Inlet: A Numerical Approach and Experimental Validation. High Speed Marine Vehicles - 5th International Symposium, Capri 1999



喷水推进器试验装置



最佳入口形状

发动机进气歧管优化

进气歧管指的是从进气总管引出，直到气缸盖部分的管道。设计目标是通过进气歧管的几何参数，提高发动机的功率和扭矩。初始解是工程师根据经验得到的，是根据经验所能得到的最优解。

• 设计目标：

发动机转速5000rpm时，功率最大。大于80kW。

发动机转速3500rpm时，扭矩最大。大于150Nm。

发动机转速1000rpm时，功率最大。不能小于12kW。

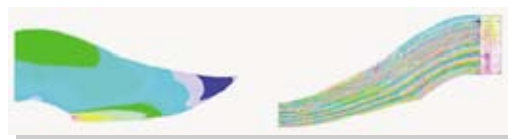
• 设计变量：

进气歧管的长度和直径

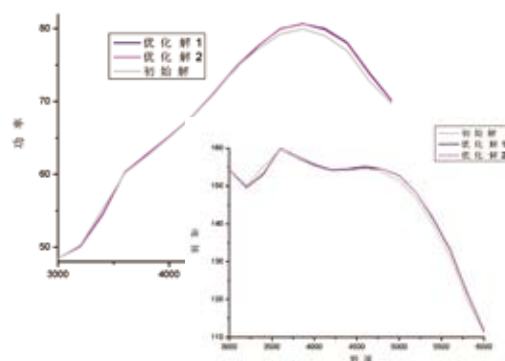
• 集成软件：GT-Power

使用MOGA算法，用17个个体，32代进化。

虽然经验设计已经很好地发挥了发动机的能力，但经过优化后还是在一定程度上提高了优化目标。



最佳入口形状的压力分布和粒子跟



催化器形状优化

问题描述：

减少汽车用催化器的NOx,CO,HC气体，减少催化器中的压力损耗，使与催化器接触的部分气流均匀。

• 目标变量

入口-出口之间的压力差最小

出口部分速度标准差最小

• 设计变量

每个断面4个变量，3个断面，共计12个变量

• 集成软件

三维CAD软件 SolidWorks 2001

自动生成网格软件ICEM CFD/TETRA

性能分析Star-CD

• 设置modeFRONTIER：

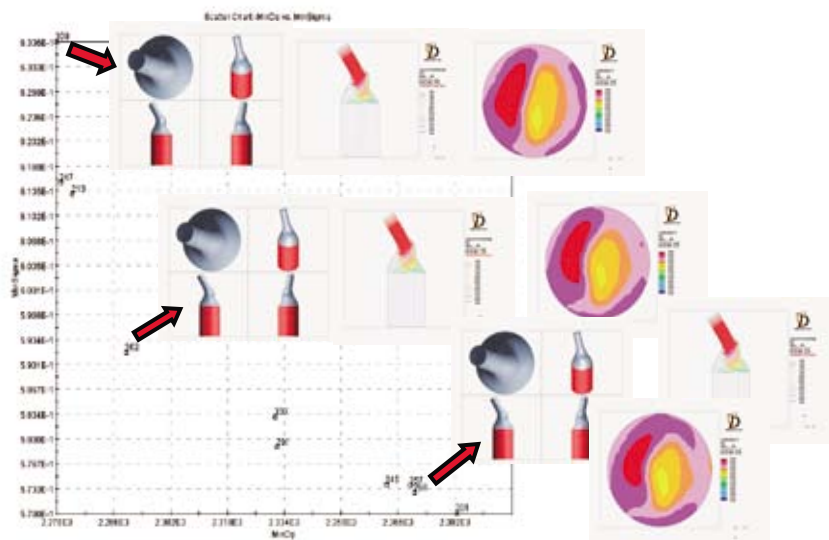
初始代数：32，随机产生。

优化算法：FMOGA(Fast MOGA)。

初期响应面 (RSM) 适用率为 0.7。

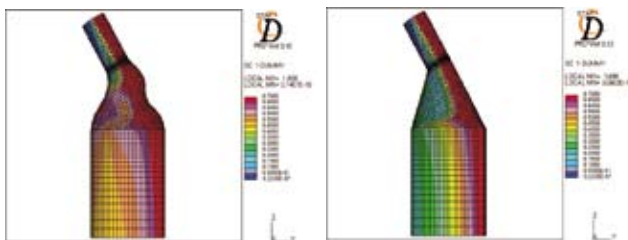
计算次数：261（包括DOE的初始次数）。

计算时间：32小时（计算机配置：P4 2GHz，4CPU）。



优化结果（Pareto图）

结果比较：





西迪阿特信息科技(上海)有限公司 上海
上海市东方路971号
钱江大厦25楼C座 200122
Tel : 021-50588290/50588291
Fax : 021-50588292



西迪阿特信息科技(上海)有限公司 北京
北京市朝外大街18号
丰联广场A座1207室 100020
Tel : 010-65881497/65881498
Fax : 010-65881499

技术支持 : support@cdaj-china.com
<http://www.cdaj-china.com>