

凸轮设计造型仿真分析系统实用指南

1 CAMDA 系统概述

凸轮设计分析(Cam Design Analysis)系统的核心程序是 CAMDA.exe, 简称 CAMDA 系统。该系统适合适用于各种滚子与平底从动件凸轮的创新设计研制与加工制造计算分析。尤其是对研制生产摩托、汽车、机车、船舰、坦克等内燃发动机行业, 利用本系统很容易完成各种配气凸轮、油泵凸轮的构型设计与动力性能分析, 生产厂家可用来解决凸轮加工或仿制中的诸多数据处理疑难。特别是多种配气凸轮的自动优化使设计师能优中选优轻松高效地完成设计任务。

1.1 CAMDA 系统的功能模块

CAMDA 系统是集配气凸轮、油泵凸轮、几何凸轮和仿真制造于一体的大型综合计算分析软件。

配气凸轮模块由运动学设计、运动学设计兼动力学分析、动力学设计兼分析和动力学仿真分析四大部分组成。运动学设计和运动学设计兼动力学分析提供了高光滑组合、复合低次方、多项式组合、复合抛物摆线、复合摆线、复合摆线 2 型、四项式高次方、五/六项式高次方、样条函数九种不同的构型设计方法; 动力学设计兼分析提供了高光滑组合、N 次谐波、多项动力凸轮等不同的构型设计方法; 除 N 次谐波需人工调优外的其它算法都配备了人工调优与自动优化计算。

配气凸轮部分还配备了光滑谐波逼近和样条插值两种动力学仿真分析算法。

供油凸轮模块提供了低次方组合、低次方组合及动力计算、高次谐波和早期的多圆弧供油凸轮的构型设计计算。另配备了供油凸轮的动力学仿真, 只要知道从动件位移表和柱塞腔压力波就可计算出凸轮表面的受力及应力。

忽略配气凸轮和供油凸轮的特殊要求, 也可用作其它机械凸轮设计。

本软件还配备了二凸弧、凹凸弧、凹双凸弧、切线凸弧、切线双凸弧、偏心圆弧六种几何凸轮及其组合构型的通用设计算法。

凸轮的仿真制造模块包括了对原始升程数据进行初光顺及精光顺处理, 提供了样条插值和改进了的最佳谐波逼近和改进的平滑谐波逼近三种仿真加工计算。为了改进某些凸轮的加速度性能, 提供了有限积分综合和影响函数法两种数值综合仿真算法, 即用它们可以把不光滑的加速度型线微调成光滑的加速度型线而逼近原来的位移并使型面更加光滑。

1.2 系统特色

CAMDA 的系统的突出特点如下:

(1) **方法众多, 内容丰富, 新颖实用。**系统集国内外许多方法和研发人在凸轮函数造型和外形仿真方面的许多创新研究成果于一体, 在长期的实际应用中不断丰富完善而成。无论用户要求对称或非对称、带不带远休停段的各种设计分析要求均能满足。

(2) **样例引导, 上手轻松, 操作简便。**本系统各种操作可用鼠标点选或键盘选择, 不用记忆, 菜单的由灰变黑会引导用户轻松地进入佳境。任何凸轮设计师或工艺师根据屏幕信息都能轻松自如地完成自己的全部工作。用户任意点选了众多方法的一种在工作屏幕左边的**原始数据校对表**中都有相应的可直接运行的样板实例数据出现, 按样例名称把其数值填改为自己的设计值再点击**原始数据安排**




框中的**选定计算**立即可得计算分析结果。一般原始数据的提供除修改样例外，另配备了**文件提供**，对项数不固定的还配有**问答输入**。样例或修改后的样例一经运行，**原始数据安排**框中的**保存**就可点选，点选后就保存为 txt 形的供**文件提供**所需的原始数据文件，修改 txt 形文件中的数值是制作原始数据文件最有效的方法。

(3) **系统完备**。系统自备功能完善的多文档文本编辑器和图形编辑器。计算后，可在文本编辑器中生成、显示、保存或打印各种所需的数据表和供 **CAD** 绘制各种所需图形的 SCR 文件，可在图形编辑器中输出各种所需图形，亦能及时在工作屏幕上观察各种图形及特性参数，十分方便选定或修改方案。软件允许用户在 **Excel** 电子表格上生成未经取舍的数据总表，以便作其它数据处理。

(4) **调优方便**。配气凸轮和供油凸轮可以反复调整**原始数据校对表**中设计参数值而获得满意的较优结果。设计配气凸轮时用户可选择自动优化，自动优化耗时稍长，但将获得满足方方面面约束而时面值丰满系数最优的结果。


(5) **帮助详实**。正版的帮助文件是一部详尽的凸轮设计造型理论与应用实践专著，现代凸轮造型设计的基本理论、基本算法公式、用户指南、疑难处理、使用经验在帮助文件中应有尽有。


1.3 系统的安装


针对专业用户使用的上述内容都集成在一张光盘的  CAMDA 目录中，只要将  CAMDA 复制到硬盘的根目录下，双击打开  CAMDA 目录可见相关子目录及主要文件如下：





其中


 **Backup** 有所在目录的全部内容的备份，用户不要改变其文件属性；




 **BitMap** 是运行 CAMDA 的位图文件，缺失运行是简要示意图；





 **Help** 备份帮助文件；

 **MyData** 用于保存用户计算后所需的各种数据和图表；

 **Sample** 存有 CAMDA 运行时各种样例的副本，用户可以按样例的名称将数值修改为自己的原始值供 CAMDA 运行时作文件提供；

 是执行文件的图标，双击它就可以进行设计造型仿真分析计算了。

注意！只有将  CAMDA 目录复制到硬盘的根目录下，计算后所需的各种数据和图表才保存在  MyData 目录中，否则可能保存到  所在目录或别的目录中。

注意!!以上内容只是完整的试用版，只要将  和  HNM.DLL 动态库放在同一目录中也是一个较完整的试用版。正式版还需在  所在目录添加权限文件。权限文件由开发方绑定用户的硬件环境后定制，欲获取正式版权限文件的远程用户可点击  XinxiciCaiji，这时会出现独立屏幕的顶部如下：

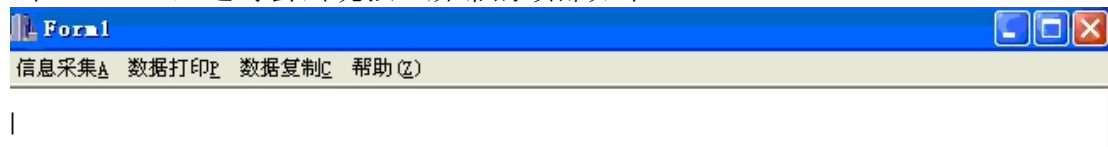




图 1-1 用户应用环境信息采集屏幕头

用户只要点击**信息采集**并将屏幕显示的结果数据打印或复制后通知软件营销方或开发方，经认可就会发给用户权限文件，将权限文件和  装在一起就行了。

1.4 系统的启动界面

双击，系统刚启动后主窗体的菜单与工具条如图 1-2 所示。此时可点击**凸轮设计造型R**进行设计仿真计算分析，也可以选**文本文件F**或**图形处理P**进行文本或图形编辑，而后的主要用途是输出计算后可编辑的数据或图形。

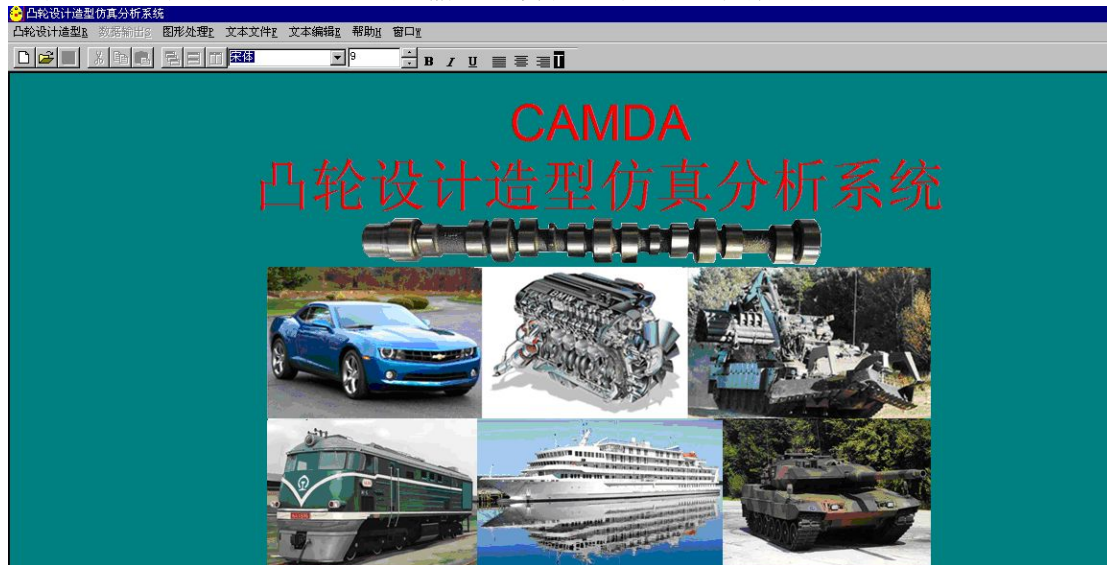


图 1-2 系统启动上屏幕的主菜单与工具条
当点击**凸轮设计造型R**后主屏幕展开的菜单如图 1-3 所示。



图 1-3 凸轮设计造型选项单

设计造型进行中的工作屏幕与图 1-4 大同小异。屏幕左上为**原始数据安排**，安排原始数据的提供方式及用途；左下为**原始数据校对表**，表中装有数据名称及可修改的数据值；右上为**图形输出选项区**；右下为图形输出区，该区域在计算开始时可能显示一些说明性的图形或文字，计算结束将显示**图形选项区**点选的图形，其中有些曲线图等包含基本的性能说明，便于用户及时选取或修订设计参数。

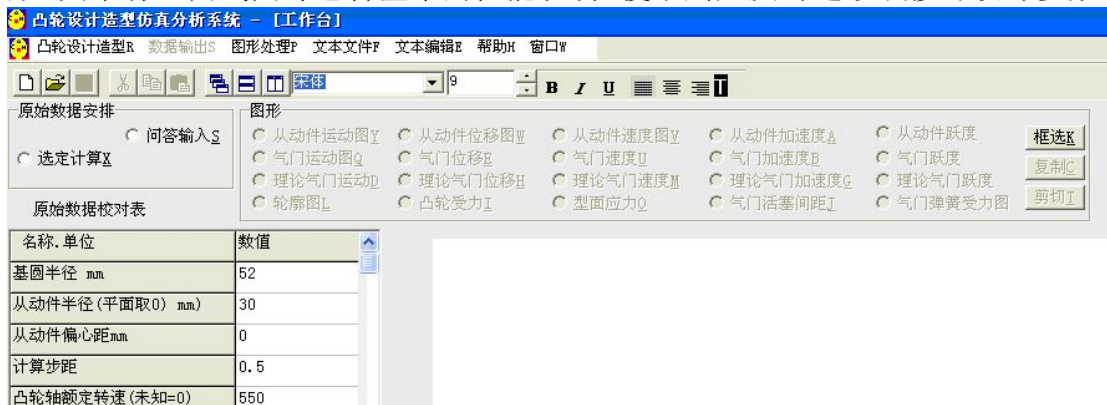



图 1-4 工作屏幕的四个功能区

2 CAMDA 系统用法详解

2.1 配气凸轮设计分析

配气凸轮运动学设计和配气凸轮运动学设计单自由度分析基本操作相同,两者都可由四种缓冲曲线和九种工作曲线任意搭配成凸轮一个周期的运动型线,前者无动力学分析实用性不强,着重弄清后者和配气凸轮动力学设计单自由度分析的使用方法。

2.1.1 配气凸轮运动学设计单自由度分析

- (1) 双击  启动系统, 屏幕如图 1-2。
- (2) 点击 **凸轮设计造型R** 展开后如图 2-1, 在其选项中选一种设计方法。

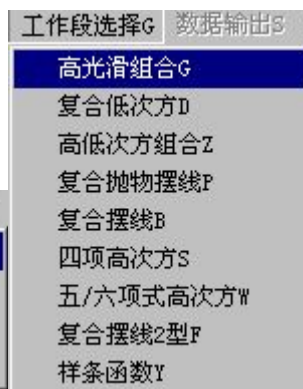
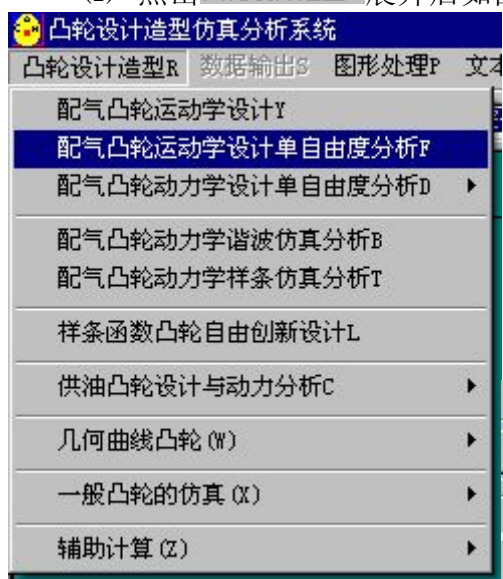


图 2-1 设计分析方法选项单 图 2-2 缓冲段选项 图 2-3 工作段选项

- (3) 点击 **配气凸轮运动学设计单自由度分析F** 会弹出如图 2-2 缓冲段选择C。
- (4) 点击其中的一种缓冲段, 例如**多项式型**, 弹出如图 2-3 工作段选择G。
- (5) 点击**工作段选择G**的一种工作段, 例如**高光滑组合**。
- (6) 设计分析方法选定后样例及图文说明会显示在如图 2-4 的工作台上。

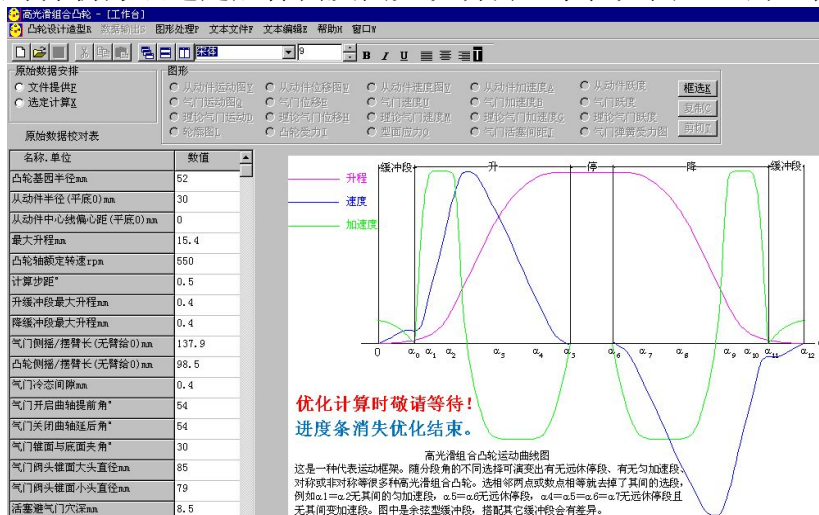
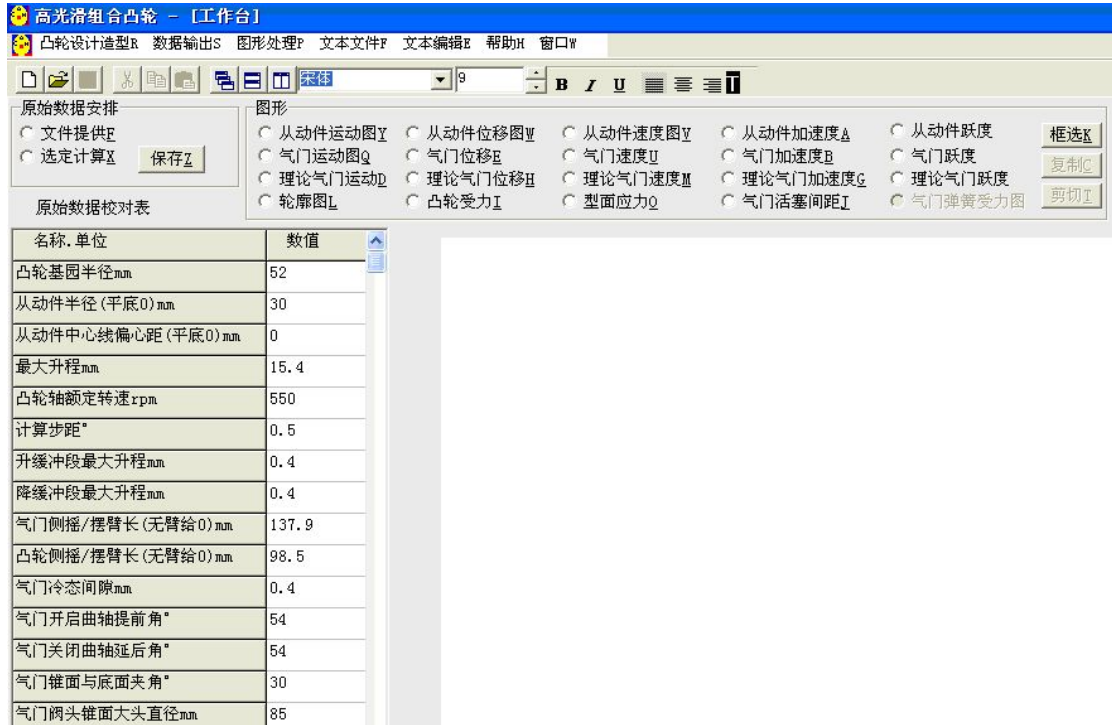
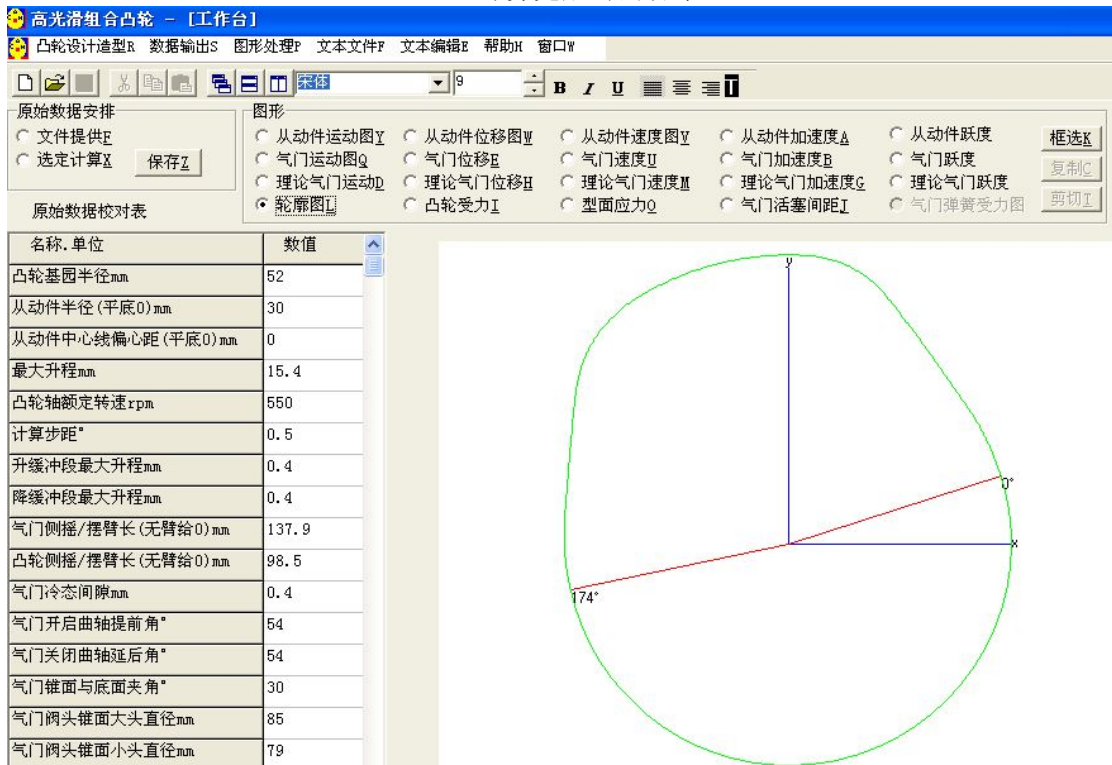


图 2-4

(7) 用户可以直接运行样例或按样例名称将数值修改成自己的实际设计值，校对好后点击**原始数据安排**中**选定计算**立刻就出结果，屏幕变成如图 2-5 所示，其空白区留待显示用户在图形框点选的图形，例如轮廓图如 2-6 所示。



2-5 计算完成时的屏幕



2-6 图形显示

(8) 通过**图形**选项框中点选观察凸轮轮廓或各种运动性能曲线图，便于快速取舍或修改设计方案。这些图形均可框选复制，如图 2-7 至 2-9，观察图形中的性能数据就知道现有方案是否满意。修改设计可以调整**原始数据校对表**中的设计参数值后再点**选定计算**或回到第(2)步另选构型设计方法。

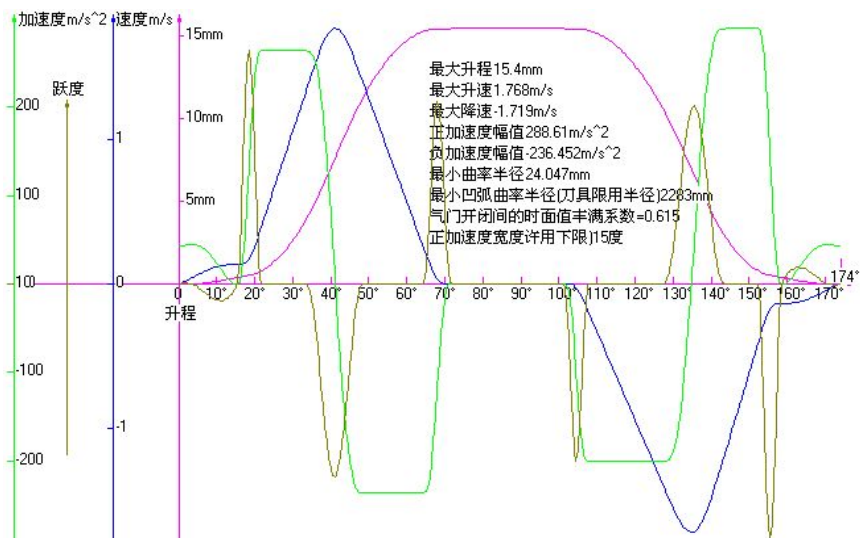


图 2-7 从动件运动图

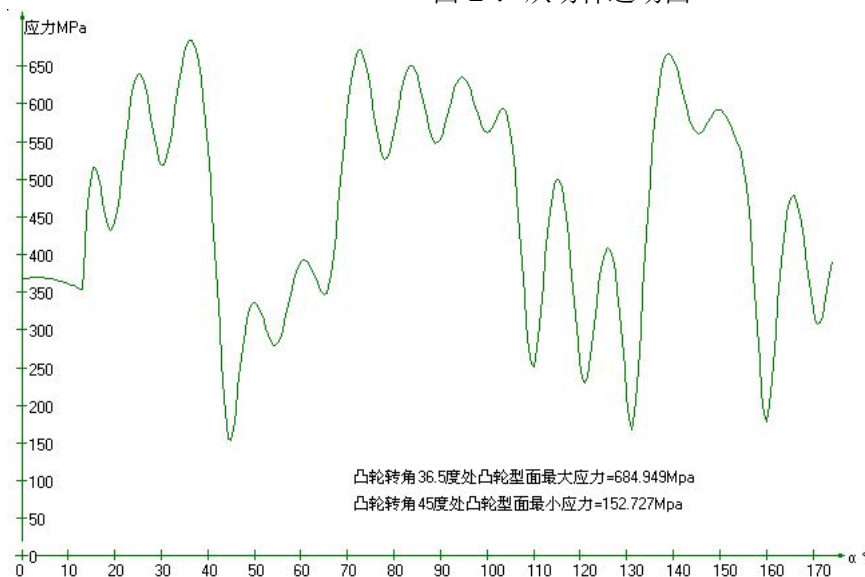


图 2-8 型面应力

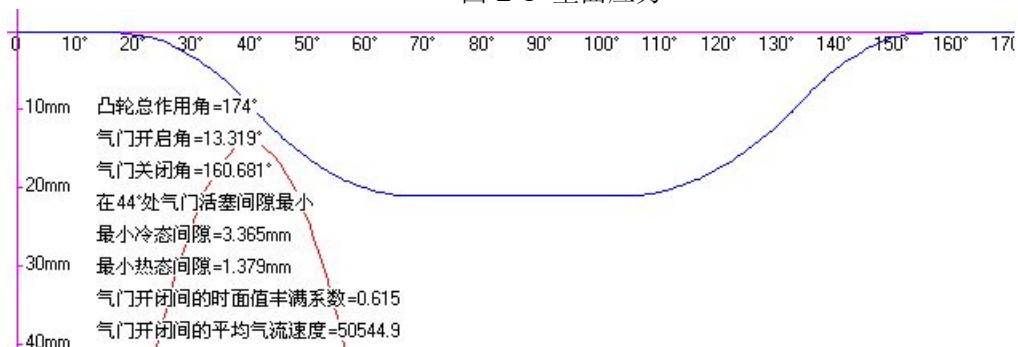


图 2-9 气门活塞间距图

从这些图文中，设计师已初步了解当前设计是否满意。如果觉得满意就可作为备选方案了，并通过点击**数据输出S**获取数据总表等各种所需数据并存档。

主菜单**图形处理P**所得到的有关图形与工作屏幕小图区所得到的是相似的，只不过**图形处理P**所得到图形是全屏幕大图并可编辑保存。

配气凸轮运动学设计的操作方法与配气凸轮运动学设计单自由度分析完全相同，因其未做性能分析仅仅作为观察参考，故不常用。

2.1.2 配气凸轮动力学设计单自由度分析

这种设计方法与前面不同点是先选工作段，根据工作段的需要再考虑是否搭配缓冲段。

谐波凸轮不需要搭配缓冲段，只要点击了它样例立即出现在工作屏幕上，可以直接修改校对好原始数值后点 **选定计算X** 即可。

高光滑组合动力凸轮和多项动力凸轮的操作如下：

(1) 双击  CAMDA.exe 启动如图 1-2 的系统。

(2) 点击 **凸轮设计造型R** 展开后，鼠标移至 **配气凸轮动力学设计单自由度分析D**，其选项如图 2-10 的红框内所示。

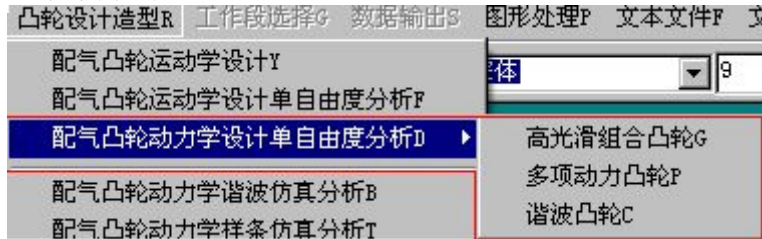


图 2-10

(3) 如果点击的工作段为高光滑组合凸轮或多项动力凸轮（例如高光滑组合凸轮），系统会弹出如图 2-2 的 **缓冲段选择C**，点击其中一种缓冲段，工作屏幕如图 2-11。后续操作与 2.1.1 的(6)至(8)步相同。

优化计算时敬请等待!
进度条消失优化结束。

高光滑组合动力凸轮理论气门运动曲线图
高光滑组合动力凸轮随分角的不同选择可演变出有无远休停段、有无匀加速段、对称或非对称等很多种组合动力凸轮。选相邻两点或数点相等就去掉了其间的选段，例如 $\alpha_1=\alpha_2$ 无其间的匀加速段， $\alpha_5=\alpha_6$ 无远休停段， $\alpha_4=\alpha_5=\alpha_6=\alpha_7$ 无远休停段且无其间变加速段。动力学修正要求气门位移的四阶导数连续，故非0次最低幕不小于4。减小正加速度宽度可增大丰满系数。

名称.单位	数值
凸轮基圆半径mm	52
从动件半径(平底)mm	30
从动件中心线偏心距(平底)mm	0
气门最大升程mm	19.72
凸轮轴额定转速rpm	550
计算步距°	0.25
气门开启离座速度mm/s	170
气门落座速度mm/s	170
气门侧摆/摆臂长(无臂给)mm	137.9
凸轮侧摆/摆臂长(无臂给)mm	98.5
气门冷态间隙mm	0.4
气门开启曲轴提前角°	54
气门关闭曲轴延后角°	54
气门锥面与底面夹角°	30
气门门头锥面大头直径mm	85
气门门头锥面小头直径mm	79
活塞避气门穴深mm	8.5

图 2-11

初次使用多拉一下 **原始数据校对表** 中的滚动按钮，熟悉需修改的设计参数值。例如 **进排气标识(0进1排)** 表示设计进气凸轮，改为 **1** 是设计排气凸轮。

2.1.3 配气凸轮的优化设计分析

配气凸轮运动学设计单自由度分析和配气凸轮动力学设计单自由度分析都配备了以时面值丰满系数最大化为目标的优化计算分析。优化时的工作屏幕如图 2-12 所示，其操作方法与第一节介绍的完全一致，只是要把 **原始数据校对表** 里

的滚动按钮下拉到底，将表中 **自动优化 (y一次, Y二次)?** 一栏后的默认值 n 改为 y 或 Y 并将表中数值及约束值校改为实际使用值，再点 **选定计算** 就进入自动优化了。自动优化耗时稍长，屏幕下面会有进度条闪现。

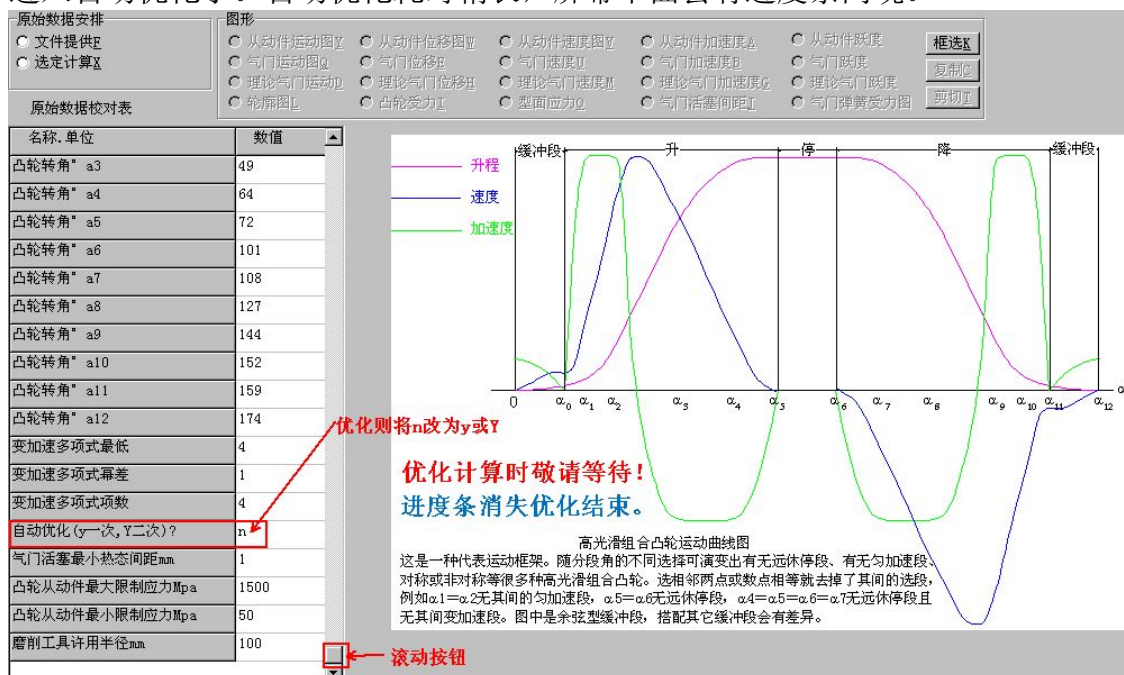


图 2-12

一次优化得到的是对称凸轮型线的优化。二次优化是保持一次优化的部分结果进而考察非对称型线是否有满足各种约束的更优方案。正加速度宽度变窄是提高丰满系数的主要措施，但越窄越容易出现气门活塞相碰，气门活塞间距一般是进一步提高丰满系数的主要障碍，而最小间距是在凸轮顶点一侧出现，往往是气门活塞间距不可调了其它约束条件还有足够可调空间，此时可保持最小间距侧的设计参数不变调另一侧的设计参数进行二次优化可望有更大收益。如果没有更大收益则保存一次优化的最优方案。

优不优化的数据和图形处理完全相同。

不做优化设计所需时间很短，不用进度条。优化要算几百甚至上千个方案，少则十多分钟，多则几个小时，计算过程中屏幕下面会有进度条显示。一般型面设计的优化可在半小时内完成。样条配气凸轮的优化需一小时以上，虽然耗时长，优化结果特佳。用户可在前台做别的事。

无论是否优化，计算完成后一般工作屏幕 **原始数据安排** 框中 **保存** 按钮凸现可选，点击 **保存** 会弹出图 2-13 的对话框让用户输入文件名，系统按文件名将当前运行实例保存为样例文件供改编调用。

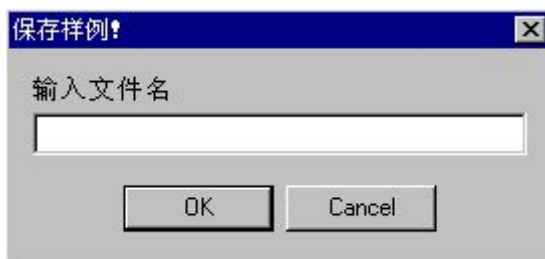


图 2-13 保存原始设计数据

正版配备了优化记录文件记录许多较优方案的构型与性能基本参数，便于经验丰富的设计师综合评选设计方案。

2.2 供油凸轮设计与动力分析

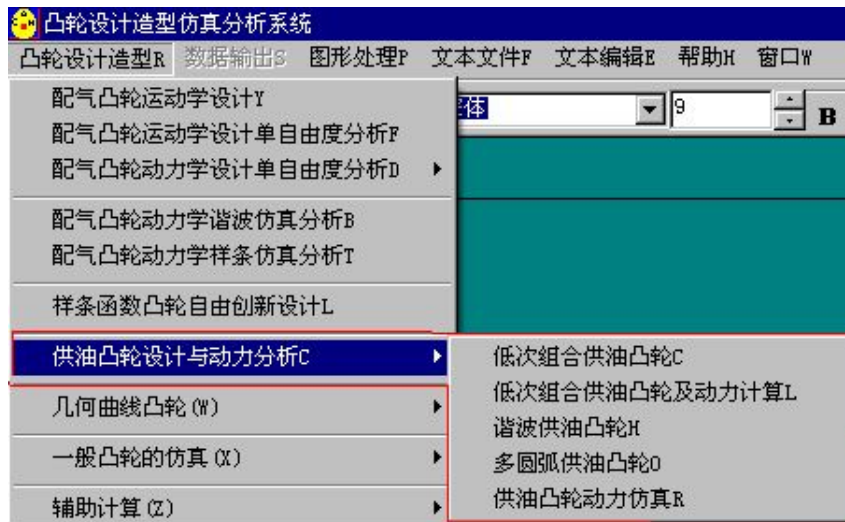


图 2-14

- (1) 双击 CAMDA.exe 启动如图 1-2 的系统；
- (2) 点击凸轮设计造型展开如图 1-3 的选项，光标移至供油凸轮设计与动力分析点选如图 2-14 红框内的一种方法就进入了供油凸轮设计或仿真。

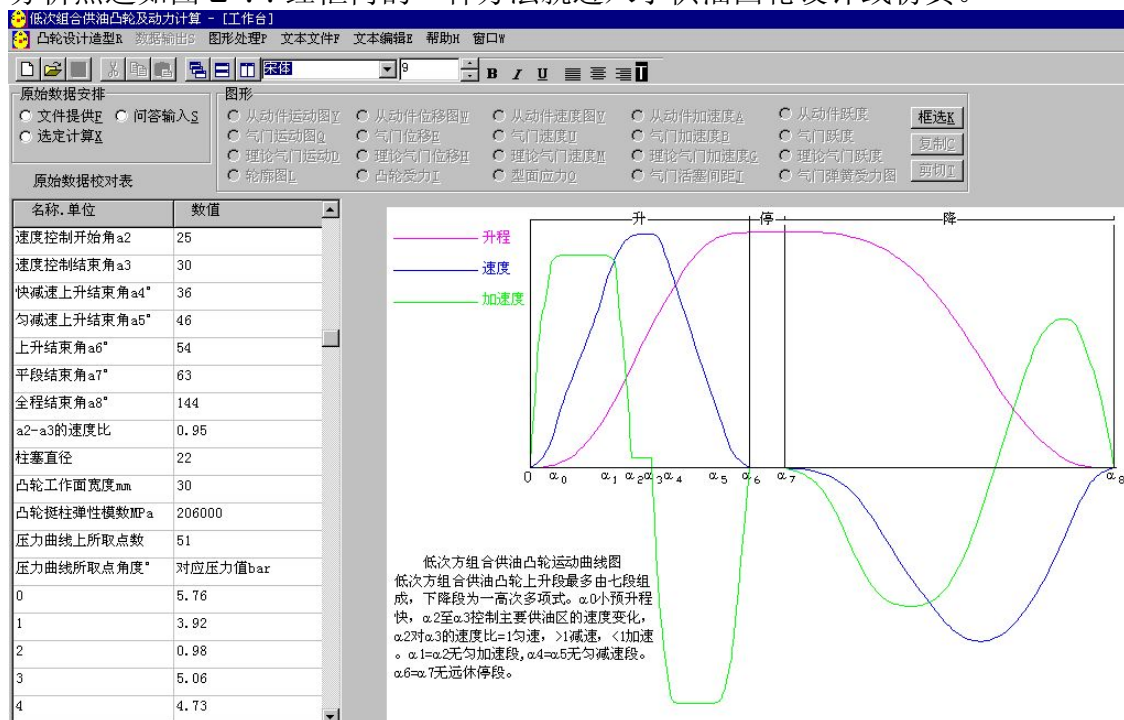


图 2-15

供油凸轮动力计算需要有油泵喷射压力的采样数据，这里只对低次方组合供油凸轮配备了动力计算，其它型线可把计算后得到的位移数据提供给供油凸轮动力仿真。这两种算法配有问答式输入，点击 问答输入 会弹出如图 2-16 的对话框，在对话框中给出点数值 Ok 后原始数据校对表会给出填改全

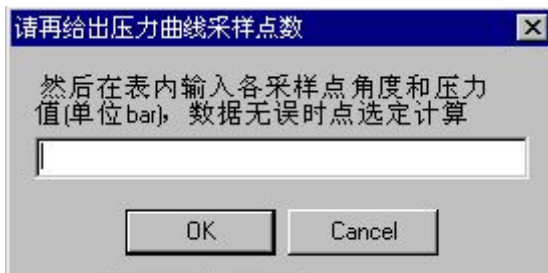


图 2-16

部所需数据的新表供用户修改设计参数和采样数据，图 2-17 是新表的一部分。

凸轮工作面宽度mm	30
凸轮挺柱弹性模数MPa	206000
压力曲线上所取点数	20
压力曲线所取点角度°	对应压力值bar

图 2-17

这时只要在校对表中填上采样角度及对应压力值，确切无误就可以点选定计算了。计算完成后，图形可选项如图 2-18 所示。

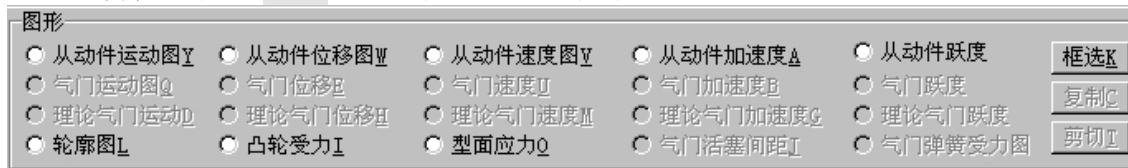


图 2-18 作动力计算后的图形选项

做供油凸轮动力仿真时，如果点击 **问答输入** 会弹出如图 2-19 的对话框。在对话框中输入原始升程表项数值点击 **OK** 后又会弹出如图 2-16 的对话框问取采样点数，输入采样点数值点击 **OK** 后原始数据校对表后部分如图 2-20 所示。填改校对好数据就可点选定计算了。



图 2-19

凸轮转角	升程值mm
压力采样点角度	采样点压力值bar

图 2-20

计算完成的结果数据处理同上。

2.3 几何曲线凸轮

几何曲线凸轮设计用法简单，(1)、(2)步操作与前面介绍的其它凸轮相同，涉及的凸轮型线有图 2-21 几种。

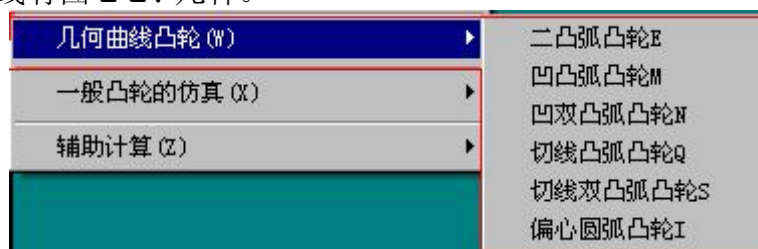


图 2-21

點選其中一种型线需要的设计参数也不多，如图 2-22 所示。只要把校对表中的几何尺寸改为所需要的尺寸就可以选定计算。

几何曲线凸轮可以设计成对称，也可以设计成有半个偏心圆弧形的。默认状态是对称构型，只要将图 2-22 中 的数值 1 改为 0 就带半个偏心圆弧。两种外形如图 2-23 所示。

原始数据校对表	
名称.单位	数值
凸轮基圆半径mm	48
从动件半径(平底取0)mm	30
从动件偏心矩(平底取0)mm	0
最大升程mm	24
设计转速r/min	550
计算步距°	1
切线	0
凸弧半径mm	38
凸弧半径mm	18.5
切线段作用角°	27.167
凸轮半包角°	66
回程:0偏心圆, 1对称	1

图 2-22

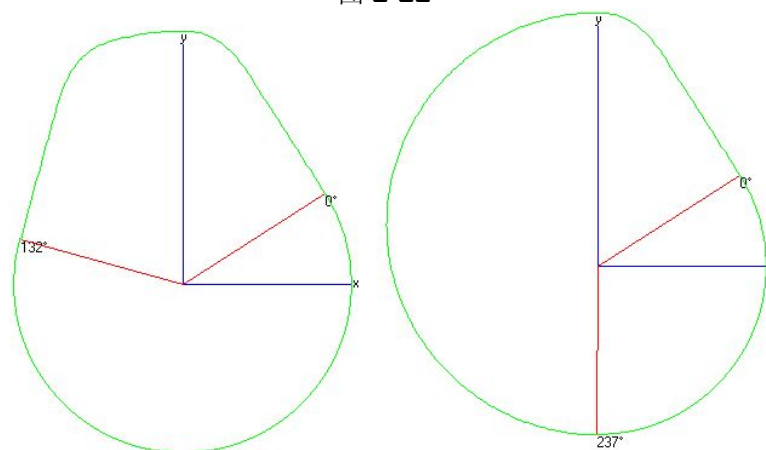


图 2-23 对称几何曲线凸轮与半偏心圆几何曲线凸轮

几何凸轮由凸圆弧、凹圆弧、切线等几何曲线组合而成。有凹圆弧或切线的不能用于平底从动件。几何凸轮的运动特性比较差，分段处的加速度一般都不连续，在配气凸轮的构型设计中已逐渐淡出。但因其构型简单，容易控制曲率半径，在供油凸轮或其它低速凸轮结构中尚不罕见。采用几何作图就可以画出几何曲线凸轮的轮廓，特别是偏心圆弧凸轮更不需要计算，但不同几何曲线组成一个凸轮整体时现代加工需要计算其轮廓坐标。

2.4 凸轮仿真计算分析

凸轮仿真计算涉及三方面的内容：(1)配气凸轮的动力学仿真；(2)供油凸轮的动力仿真；(3)一般凸轮仿真。

2.4.1 配气凸轮的动力学仿真

这种仿真配备了谐波和样条拟合算法。启动系统后点击**凸轮设计造型R**展开菜单有图 2-24 两个选项，任点选其一仿真均可。

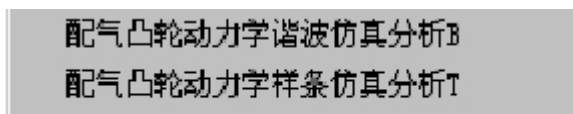


图 2-24

动力学仿真不仅获得凸轮的外形数据，还要知道配气凸轮的动力性能。因此需要的设计参数多，例如各构件的质量、刚度、弹性模量等等，还需要凸轮的升程表。前者的名称是不变的，运行只需修改参数名称后面的数值。位移表是变动的，可以调用样例文件将设计参数和位移修改成实用数据后点击 **文件提供E** 供给



图 2-25

系统计算分析，也可以点击 **问答输入S** 填改样例后 **选定计算X**。选问答输入时系统会弹出如图 2-25 的对话框，只要在框中输入升程表的项数值点击 OK 就会得到供用户填改的新 **原始数据校对表**，用户填改好表中的参数值和角度升程对应值再点击 **选定计算X** 立刻得计算分析结果。

配气凸轮动力学仿真后输出的数据和图形选项与动力学设计分析相同。

2.4.2 供油凸轮的动力学仿真

这种仿真参见 2.3 供油凸轮设计与动力分析部分。

2.4.3 一般凸轮仿真

这种仿真配备了图 2-26 红框中所示的五种方法，类似配气凸轮动力学仿真的用法，只是设计参数（如图 2-27）较为简单。

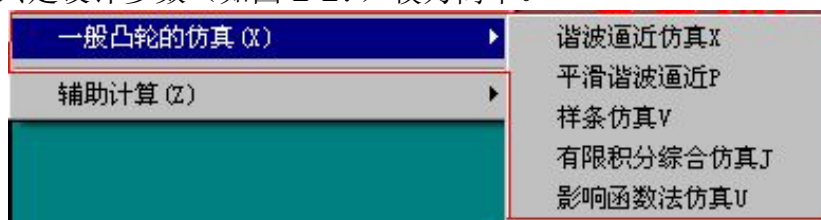


图 2-26

一般凸轮的仿真前三种方法都是要求提供升程表的值，后两种方法是把已知加速度型线值综合成可加工的升程型线。后两者主要用于对较粗糙的凸轮型线进行光滑逼近。

每种仿真的升程数据安排在其它参数的后面，如图 2-27 所示：左边角度，右边升程值。原始数据文件的数据安排与校对表中的安排一致，只是是纯文本而非表格而已。

名称.单位	数值
凸轮基圆半径mm	52
从动件半径(平底)mm	30
从动件偏心距(平底)mm	0
起升速度mm/s	0
停升速度mm/s	0
计算步距°	0.25
设计转速r/min	550
实际凸轮总作用角°	174
实际凸轮最大升程mm	15.4
样条插值(忽略数值)	40
角度x°	升程值y(mm)
0	0

图 2-27

2.5 样条凸轮的自由创新设计

样条函数凸轮自由创新设计选项是为资深用户准备的。这个选项可用来设计任何一种运动形态的凸轮型面。只要用户萌发一种设计思想，给出若干结点的控制值(可以是位移、速度、加速度或更高阶变化率中的一个或多个)，系统都能自动地选择适当的高次 B 样条函数来完成凸轮型线设计。例如，用户希望某一段位移不变，只要在该段密插若干点令其位移为常数或速度为 0；希望某一段为匀速运动，只要在该段密插若干点令其加速度为 0；希望某一段为匀加速运动，只要在该段密插若干点令其跃度为 0；等等。自由创新不具体对哪种专用凸轮作性能分析，用户可以把得到的型面数据放到那种专用凸轮的性能仿真软件中去考察性能。自由创新的原始数据提供有修改样例和问答输入两种方式。

(1) 样例使用方法

先对样例作一些讨论。样例共有十九个控制点，各点的控制值列于下表

角	0	5.5	12	14	16	18	20	75	77	79	81	83	138	140	142	144	146	152.5	158	
0	0						0.5	15				15	0.5							0
1	0							0	0	0	0	0								0
2	0		0	0	0	0								0	0	0	0			0
3		0																		0

表中第一行是各控制点的角度值，第一列的 0、1、2、3 代表位移（0 阶导）、速度（一阶导）、加速度（二阶导）、跃度（三阶导）。

各阶导与角度的对应格有数字则表示该阶导在该角度的控制值，空格则无控制值。例如 0 度 158 度的位移、速度、加速度均为 0，各三个控制值；75 度和

83 度位移为 15 而速度为 0，各两个控制值。其余各角度均只有一个控制值。全部结点的重控制数之和为 6，系统会自动取七次样条函数来实现运动曲线的控制。75 到 83 度内密插三点令速度为 0 目的是想控制这一段位移近似于常数；12 度到 18 度和 140 到 146 度密几点取加速度为 0 是想控制这一段速度近似于匀速；5.5 和 152.5 度的跃度取 0 是想控制这两点加速度有局部极值。这种想法能否达到预期就看计算结果了。

原始数据校对表	
名称.单位	数值
基圆半径 mm	52
从动件半径(平面取0) mm	30
从动件偏心距mm	0
计算步距	0.5
凸轮轴额定转速(未知=0)	550
1位移控制点角度	0
1位移控制点位移值 mm	0
2位移控制点角度	20
2位移控制点位移值 mm	0.5
3位移控制点角度	75
3位移控制点位移值 mm	15
4位移控制点角度	83
4位移控制点位移值 mm	15
5位移控制点角度	138
5位移控制点位移值 mm	0.5
6位移控制点角度	158
6位移控制点位移值 mm	0
7位移控制点角度	
7位移控制点位移值 mm	

图 2-28 样例的部分原始数据校对表

在凸轮设计造型R主菜单中点击样条函数凸轮自由创新设计L后原始数据校对表的前部分如图 2-28 所示

这时点击选定计算X就可以得到有关数据或图形输出。图 2-29 和图 2-30 输出的轮廓图及运动曲线图。

从运动曲线图看已实现了控制运动状态的想法。图形类似于具有半波正弦缓冲曲线的配气凸轮。

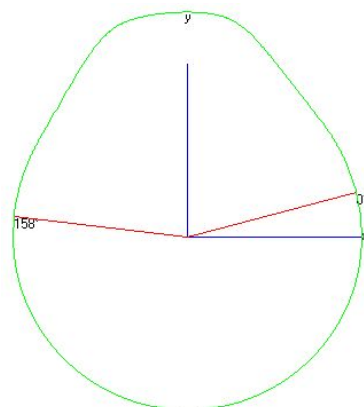


图 2-29 样例运行后的轮廓图

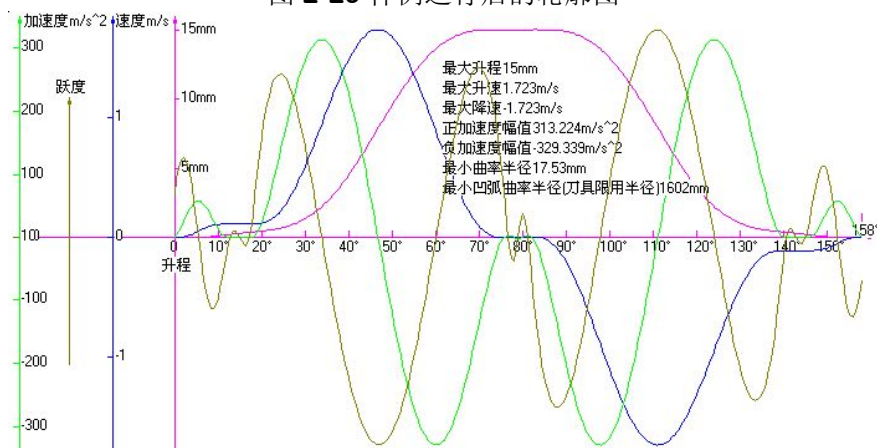


图 2-30 样例运行后的运动曲线及基本性能图

样例对位移本身及其一到四阶导数都各预留了十六项数据输入空间，这些位置由用户填写角度及其约束值，系统自动处理其中的空白位。填改好，用户即可点 **选定计算** 了，系统会自动选配满足相应条件的高次样条函数实现凸轮构型。

使用样条函数构造凸轮型线时应尽量减少内结点的重复控制数。内结点重数大了会得不到预想的型线。例如想用来设计连缓冲段在内的整体样条配气凸轮，缓冲段与工作段的连接点多个控制值适当错开给，即可减少重复控制数。

(2) 问答输入用法

如果用户点击的 **问答输入**，系统弹出如图 2-31 的对话框



图 2-31

在上对话框输入求导的最高次数，例如 **3**，然后点击 **OK**。接着系统询问各阶导数的控制点数，如图 2-32 至 2-35



图 2-32

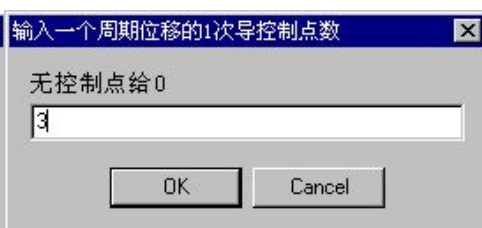


图 2-33

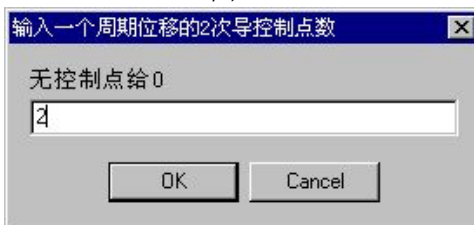


图 2-34



图 2-35

然后系统给用户可填改的 **原始数据校对表**，类似于图 2-28，只不过角度及其控制值后是需用户填改的空白。例如填写空格中的数值图 2-36 所示，填好了控制值点 **选定计算** 就得结果了。

图 2-37、图 2-38 分别是本实例运行后的轮廓图和运动曲线。

名称.单位	数值
位移控制点1的角度	0
位移控制点1 的值	0
位移控制点2的角度	75
位移控制点2 的值	15
位移控制点3的角度	150
位移控制点3 的值	0
1次导数第1控制点角度	0
1次导数第1控制点约束值mm	0
1次导数第2控制点角度	75
1次导数第2控制点约束值mm	0
1次导数第3控制点角度	150
1次导数第3控制点约束值mm	0
2次导数第1控制点角度	0
2次导数第1控制点约束值mm	0
2次导数第2控制点角度	150
2次导数第2控制点约束值mm	0
3次导数第1控制点角度	0
3次导数第1控制点约束值mm	0
3次导数第2控制点角度	150

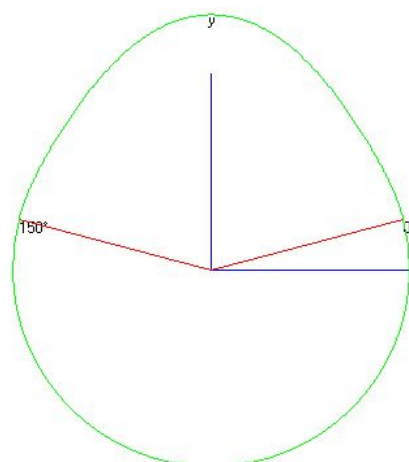


图 2-36 问答输入的算例值

图 2-37 问答输入的算例的轮廓图

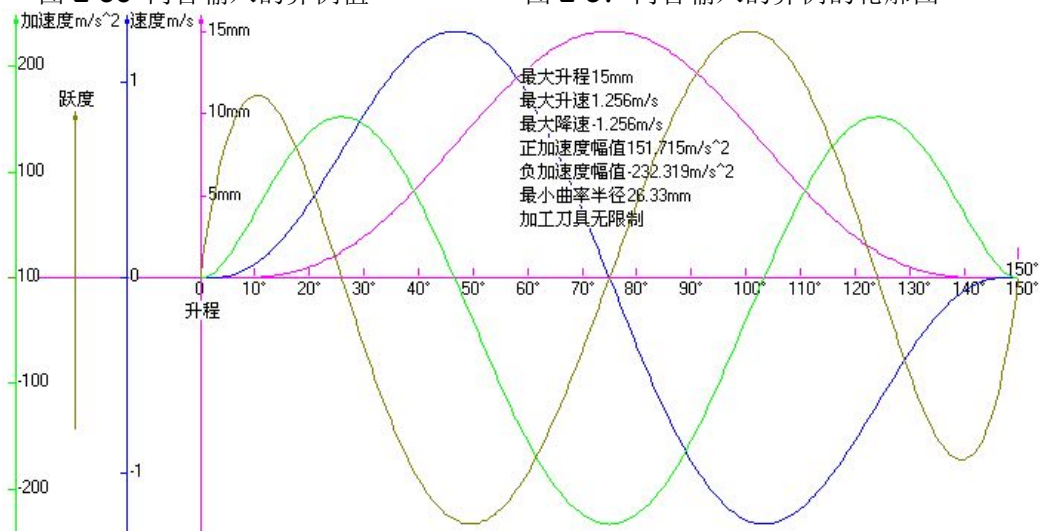


图 2-38 问答输入的算例的运动曲线图

2.6 CAMDA 系统的辅助计算

辅助计算 (Z)

配气凸轮弹簧力跟踪仿真分析G

线性弹簧设计计算T

用户权证申请表B

图 2-39 辅助计算选项

辅助计算共有如图 2-39 的三个选项，分别介绍于后。

2.6.1 配气凸轮弹簧力跟踪仿真分析

这项计算是较陈旧的静力学仿真分析，它可以得到机构的弹簧储备系数供设计师选择参考，而机构的受力和应力远不如单自由度弹性系统动力学分析那样切合实际，建议一般不用。经弹性动力学分析后用不着考虑弹簧储备系数，只要应力在许用范围弹簧的设计就是合理的。选择了这项计算的工作屏幕上部如图 2-40 所示，其运作方法与供油凸轮设计类似。

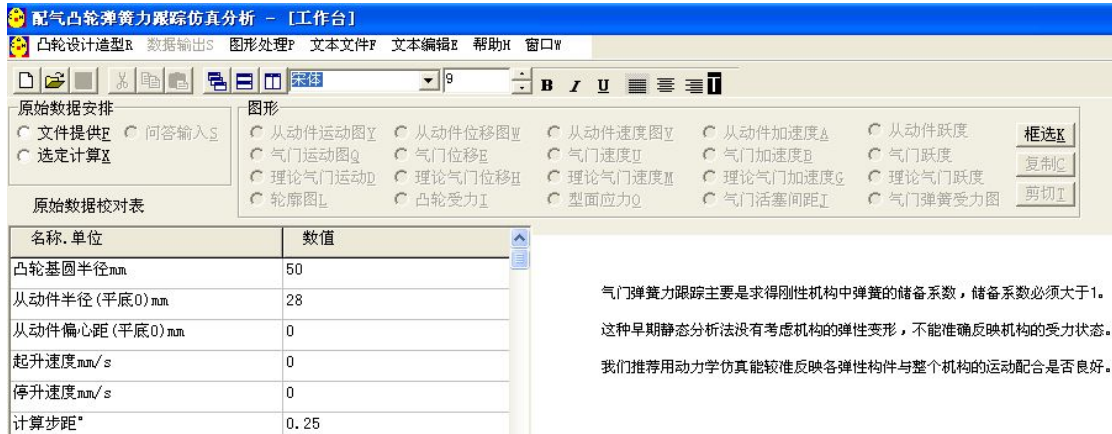


图 2-40

2.6.2 线性弹簧力设计计算

此供弹簧设计参考。点击它会弹出如图 2-41 的新窗口，只要在原始数据表中填改好数值并选择好需计算的项目，再点击确定计算即得计算结果。

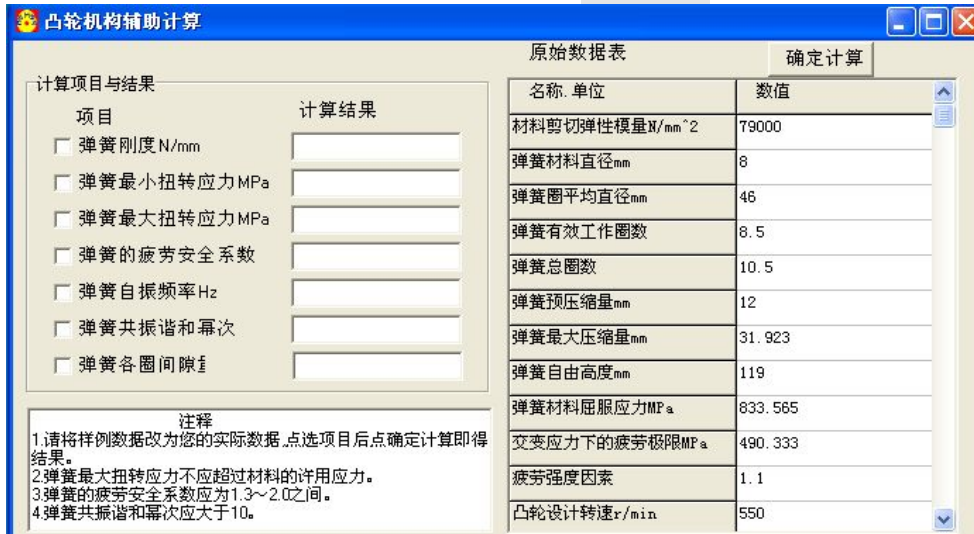



图 2-40

2.6.3 用户权证申请表

点击用户权证申请表会弹出如图 2-42 的新窗口，在该窗口点击信息采集就会显示您应用的硬件环境信息，把该信息通知开发商或经销商就会给您发来权证文件，把权证文件和装入同一目录就成为正式版用户了。测试版功能齐全，只是生产需用的数据不全。获得权证文件的用户就可以输出完整的数据了。

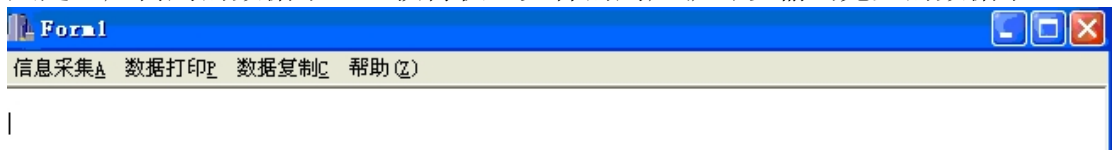


图 2-42 非正式用户需将信息采集结果通知开发方申请权证文件

3 深入用好 CAMDA 系统

3.1 配气凸轮缓冲段选配原则及重要性

配气凸轮工作段选取非常重要，而缓冲段选取的重要性也不容忽略。在现代配气凸轮的精密加工中对缓冲段的精度要求更高，因为缓冲段位移变化缓慢如果精度粗糙会偏离理论设计较大。

要设计好缓冲曲线应注意选好三个基本参数：缓冲段包角 α_0 ，缓冲段总升程 h_0 及与基本段的连接速度 v_0 。三个参数中 h_0 的选取较关键。 h_0 的选取与消除气门间隙及克服弹簧预紧力和气缸内的压力有关，也与气门的落座速度有关，还要求气门开启或落座瞬间加速度为 0 。由于工作段加速度变化很快，要求气门不要在工作段开启或落座。如果根据气门间隙算出达到 h_0 的理论缓冲段转角为 α_x ，实际取 $\alpha_0 \approx 1.1\alpha_x$ ，这样才能保证气门在加速度变化缓慢的缓冲段开启或落座。

图 3-1 至 3-4 是四种缓冲曲线与高光滑工作段组成的凸轮型线实例的加速度曲线截图。

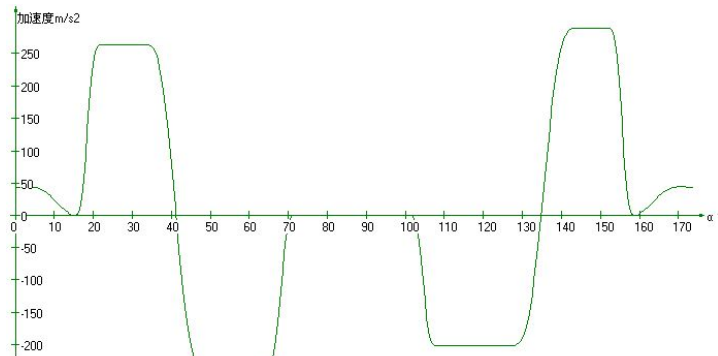


图 3-1 两端是多项式型缓冲段

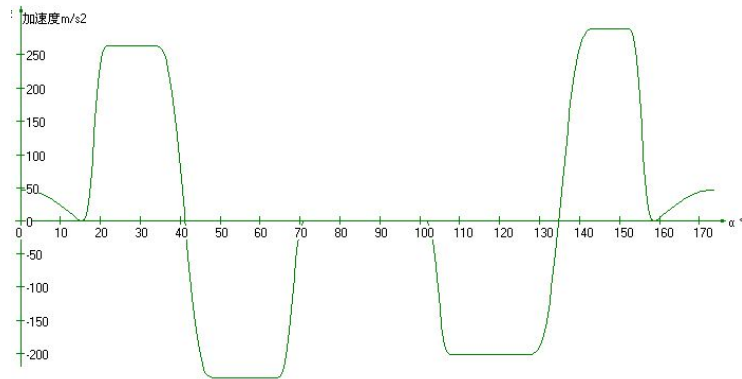


图 3-2 两端是余弦型缓冲段

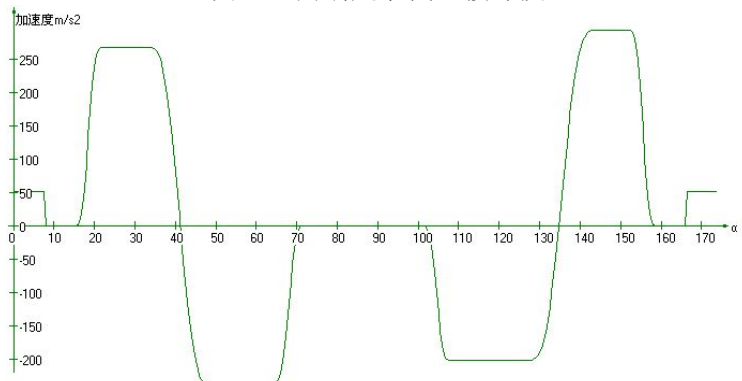


图 3-3 两端是等加速等速型缓冲段

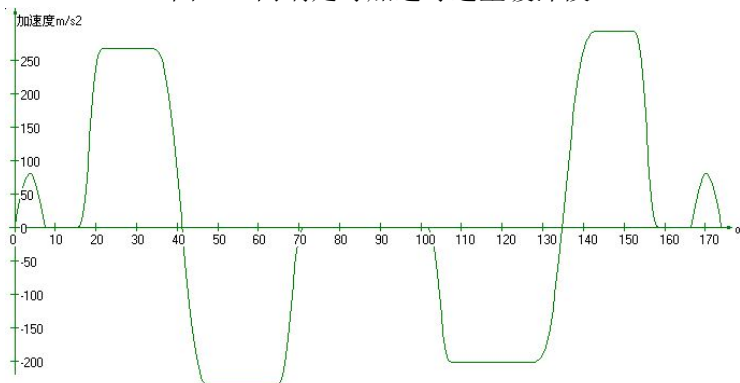


图 3-4 两端是半波正弦等速型缓冲段

多项式型是与余弦型比较优化后的改进型，这两种型线用于低中速内燃机较理想，因加速度为 0 是单一点，很难保证气门在加速度为 0 时开启或落座，它们与基圆连接点的加速度均有跳变。

半波正弦等速型是等加速等速型的改进型，它们在与工作段连接时有一小段区间的加速度为 0，容易保证气门在加速度为 0 时开启或落座。等加速等速型与基圆连接点和等速段与等加速度段连接点均有跳变。半波正弦等速型无此缺点，但加速度峰值可能要大些。选这两种加速度型线可以调整等速段所占缓冲段的比例，默认为 0.25。优化时取默认值，不优化会显示图 3-5 让用户修改比例值。



图 3-5 修改缓冲段比例的对话框

建议实际应用多选多项式型和半波正弦等速型，高转速应用以后者为主。

缓冲段的宽度越小与工作段连接处的速度越大，利于气门有较长时间处于全开位置，即利于提高时面值丰满系数，但宽度过小对运动的平稳性有不良影响。一般低中速应用可考虑 10-15 度左右，高速应用可考虑 15-20 度左右。

3.2 配气凸轮设计选型要领

无论用什么样的曲线来构造配气凸轮型线，除了遵守一般凸轮设计准则外还应该遵循下面一些基本准则。

- (1) 应满足配气正时。即要求气门在规定时刻开启并在规定时刻关闭。
- (2) 使配气机构工作平稳可靠，振动和噪声较小。配气机构工作是否平稳，是否出现从动件飞脱或气门落座后反跳可以通过配机试验确定，一般应在设计期经动力学计算来预防不良工作状态发生。
- (3) 使配气机构有良好的充排气性能。充排气性能良好是指气门的流通能力要大，使进气要充分、排气要迅速彻底。流通能力的大小可用比时面值或时面值丰满系数的大小来评价。
- (4) 气门活塞不能相碰。这是起码要求，若设计不当而未经校核，相碰是可能发生的。
- (5) 凸轮与从动件之间的接触应力应适当。应力过大会使机构磨损过快，不同材料允许应力不同，需查材料手册；应力过小或消失会造成机构脱离弹碰。

(6) 轮廓线如有凹弧，凹弧曲率半径应大于磨削工具半径。

CAMDA 系统的自动优化设计能满足上述要求，可在多型线优化中优中选优。

配气凸轮一般以丰满系数最大化为目标，在丰满系数相近的情况下应选取光滑性更高的型线。一般说整体函数光滑性最高，高次 B 样条和高光滑组合也很光滑。本系统独创的高光滑组合凸轮软件开发较早，在较长的应用实践中证明其优越可行；最新开发的 B 样条函数配气凸轮软件实例证实其性能非常优越，完全可以付诸应用。其它一些造型设计方法均在不同场合应用过，也有良好表现。

3.3 供油凸轮的型线选择

供油凸轮没有缓冲运动，在喷油开始前有一段加速很快的预升程，供油持续期应有较高的平均运转速度，设计时重在控制推程有效工作段的速度特性，回程不工作，这是与有缓冲运动的配气凸轮的最大差异。这里重点介绍低次方组合供油速度特性。

3.3.1 低次方组合供油凸轮的速度特性选择

在正版 CAMDA 中点选低次方组合供油凸轮，屏幕如 2-15 所示，屏幕图形区的说明图复制放大如图 3-6 所示。

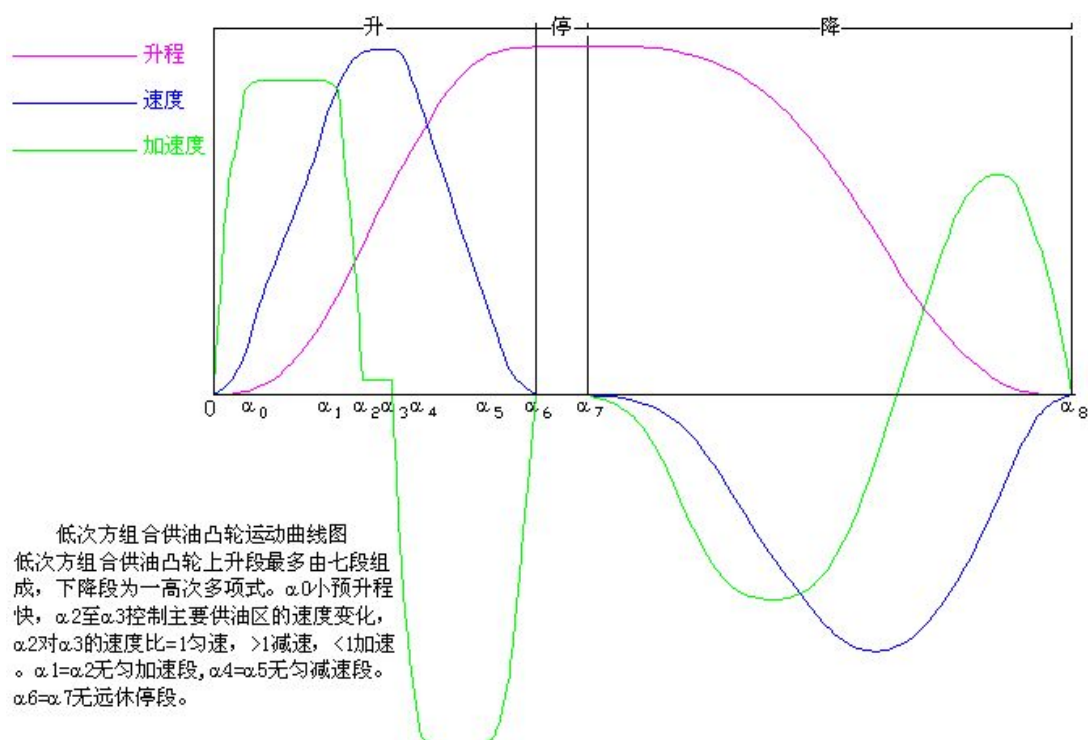


图 3-6 低次方供油凸轮的用法说明

图中 0 到 α_0 是加速度变化最快的预升程段，到 α_1 预升程结束， α_2 到 α_3 是喷油速度控制段， α_4 喷油结束，以后是减压上升段，有效工作段在 α_1 到 α_4 之间。如何控制速度特性和加速度特性，图中有较详细的文字说明。主要通过 α_2 与 α_3 两点速度比控制供油主要区段的速度特性， α_2 与 α_3 的速度比<1 升速， α_2 与 α_3 的速度比=1 匀速， α_2 与 α_3 的速度比>1 减速，比值可在 1 ± 0.15 的范围内选取，将原始数据校对表的滚动条下拉到 a_2-a_3 的速度比 0.95 的位置，改填默认值 0.95 为 1 附近的其它值就能控制供油期是升速、匀速还是减速特性。在不同速度特性中应选择满足应力限制且供油期平均速度较大的方案。

3.3.2 其它供油凸轮的速度特性选择

供油凸轮也可采用其它凸轮型线，只要知道上面介绍的一些基本原则，用CAMDA 软件中的其它方法或几何曲线或自由样条都可以设计供油凸轮型线，只要有喷射压力数据，就可以将不同构型的所得位移表与压力数据一起放进供油凸轮动力仿真中去考察工作性能，可以对不同的型线比较取舍。

3.3.3 供油凸轮回程选择

供油凸轮回程段设计比较随意，一般采用光滑的高次方曲线是不错的，也可以采用与推程对称的型线或半个偏心圆作回程型线。

现在内燃机的燃料喷射已逐步用电磁喷射取代凸轮控制。

3.3 仿真方法的综合应用

如果原始数据的精度很高，选用样条插值是比较理想而简便的仿真方法。如果原始数据精度不高或有个别疵点，采用点点通过的样条插值就会使仿真精度较低，而采用谐波(特别是平滑谐波)逼近却有较理想的仿真精度，而且还可以消除个别疵点。我们曾经做过比较：对于高精度原始数据用样条插值或谐波逼近都差不多，而对于低精度或有疵点的原始数据用谐波逼近更好。但高次谐波逼近对边界变化较快的原始数据有时会引起失真。

对一个已知位移表而未知构型函数的凸轮，无论是想分析其动力性能或是仿制都需要作数值仿真。仿真时首先应检查原始数据的光顺性。初光顺可以用二阶差商的波动状态来观察，必要时可调整二阶差商值后用影响函数法综合出调整后的位移表。影响函数法综合出的仅仅是原结点的修正位移表，而非近似构型函数，要作仿真分析制造还需要插值或逼近。用样条插值所得型值在结点的二阶导数实质上就是结点的二阶差商，通过样条插值观察结点的二阶导数的波动性，必要时可调整二阶导数值后用影响函数法同样可以综合出调整后的位移表。当位移表调整得比较满意时再用回弹法作一次精光顺，然后再用插值或逼近作仿真制造分析就能获得满意的效果。

样条插值所得近似函数虽然光滑性差，但无论初光顺还是精光顺都有它的用武之地，是凸轮仿真的基本工具之一。

满足一阶边界的最佳(平滑)谐波逼近对光滑或欠光滑、等距或非等距的周期性运动数据都能较精确地反映其运动规律，很适合周期运动的状态逼近和特性研究，用于凸轮的仿真制造是十分理想的工具。此法得到的是高精度高度光滑的谐波凸轮，一般情况下比样条插值仅得低阶光滑的样条凸轮为优，逼近有利于凸轮平稳地工作，能更真实地反应原设计的运动规律，对坏点有一定纠错能力。但也要注意，因有限富氏级数的非均匀收敛性，太少或过多的谐波项数都有可能引起边界失真。开发的软件会自动优化选取谐波项数并杜绝失真现象。

为了综合运用好仿真方法，我们开发了集差分综合、样条插值和满足一阶边界的谐波逼近于一体的通用凸轮可视化仿真软件。能将原始数据进行差分综合初光顺或回弹精光顺后自动送给插值或逼近计算，对每一运算过程都能及时观察图形并能及时修改调整数据和算法，从而获得最佳的仿真效果，最后能按用户要求生成各类图表及加工文件。

对凸轮型线的修正调整点滴

(1) 凸轮型线出现磨削加工困难，原因是凸轮型面有绝对值过小的负曲率凹弧半径。解决方法：用位移数据进行外形仿真，找出由凸变凹和由凹变凸的型线弧段，

对其凹弧半径最小的区域在精度范围内适当增大位移值，在刚由凹变凸的区域适当减小位移值，观察再度仿真后的加速度图，如加速度图波动不是过大而满足加工要求，就可以取再度仿真后的位移或型面数据来加工；如加速度波动过大则位移的修改量适当减小，如不能满足加工要求，重复填凹削凸再仿真，一般重复微调多次可望获满意结果。

(2) 加工中发现凸轮在基圆区域有棱角，出现这种情况的原因多半在凸轮轴原设计厂家为防止仿造在缓冲段做了精度范围内的修改，让仿造的产品是劣质品。我们曾遇到一船用柴油机厂买的某发达国家的凸轮轴有位移表作凸轮轴的验收依据，凭所给的位移表加工怎么也消不去棱角，经仿真发现缓冲段的速度成等差数形式且与基圆连接点的速度不为 0，说明速度是与基圆不相切的直线段，仿真后不难找到缓冲段与工作段的连接点，重新补充一条缓冲曲线就圆满的解决了加工难题。需要说明的是：缓冲段的最大位移在 0.5 左右而转角却比较宽，位移变化非常缓慢，用精度不高的检验要求根本查不出直线速度和非直线速度的位移差别。一般设计师应该要求缓冲段比工作段有更高加工检验精度。

(3) 经过对陌生位移表的外形仿真后观察加速度图是否是一条比较光顺的曲线附近波动，如果波动过大可以调整临近的加速度值使其接近较光顺的加速度，然后将修正后的加速度值用积分综合或影响函数法重新仿真会得出新的非常接近原型值的更优型值。

参考文献

- [1] 宋良英, 041038 内燃机凸轮造型设计分析系统的新方法与应用, 内燃机科技—中国内燃机学会第六届年会论文集, 上海三联书店, 2004,p291-287
- [2] 宋良英, 柴孝恒, 函数凸轮的磨光样条构造, 内燃机工艺学术年会, 广州, 1983
- [3] 宋良英, 041039 磨光函数法在凸轮造型设计中的应用, 内燃机科技, 上海三联书店, 2004,p298-303
- [4] 宋良英, 动力凸轮的组合设计方法, 第四届全国大功率柴油机学术年会论文, 中国内燃机学会论文文摘, 1985.
- [5] 宋良英, 凸轮外形的仿真算法研究, 机械(增刊), 第25卷, 1998
- [6] 宋良英, 骆方林, 配气凸轮组合设计的通用新方法及应用, 中国内燃机学会大功率柴油机分会五届一次学术年会论文集, 2002.10
- [7] 宋良英等, 内燃机凸轮组合设计通法与通用软件开发, 铁道机车车辆(增刊)第23卷, 2003
- [8] 宋良英, 韩学军, 魏勇, 王黎光, 内燃机供油凸轮设计新方法 with 优化研究, 《柴油机》增刊 2004, p161-164
- [9] 宋良英, 071058 凸轮型线自由创新设计算法研究与软件开发及应用, 内燃机科技, 中国内燃机学会第七届学术年会论文集, 中国内燃机学会 编, 2007 p259-263
- [10] F.Y.Chen, *Mechanics and Design of Cam Mechanisms*, Pergamon Press, New York, 1982.
- [12] 尚汉冀 著, 内燃机配气凸轮机构——设计与计算, 复旦大学出版社, 1988.
- [13] 陈达民, 配气机构, 柴油机设计手册(中册), 中国农业出版社, 1984.
- [14] 陆际清等, 几种分段组合式凸轮型线之比较, 内燃机学报, 1996(3)
- [15] 董锡明 陈洪, 增压柴油机用的两种新型配气凸轮, 第四届全国大功率柴油机学术年会论文, 1985.
- [16] 王明武, FD 配气凸轮的研究与应用, 内燃机工程, 1997(2)
- [17] 史连佑, 徐家龙, 燃油供给系统, 柴油机设计手册(中册), 中国农业出版社, 1984
- [18] 陈国金, 李京鲁, 供油凸轮 CAD 系统的研究, 内燃机学报, 1997(4)
- [19] 严国建, 刘运长等, 谐波函数供油凸轮速度特性的研究, 内燃机学报, 1992(1)
- [20] 石永刚, 吴央芳, 凸轮机构设计与应用创新, 机械工业出版社 2007. 9.
- [21] 刘昌琪, 牧野洋, 曹西京, 凸轮机构设计, 机械工业出版社 2005. 10.
- [22] Fathi Al-Shamma, Faiz F. Mustafa, Sahar M. Saliman . An Optimum Design of Cam Mechanisms with Roller Follower for Combined Effect of Impact and High Contact Loads, *Al-Khwarizmi Engineering Journal*[J], Vol. 6, No. 4, PP 62 - 71 (2010)
- [23] Hansong Xiao* and Jean W. Zu, Cam profile optimization for a new cam drive[J]. *Journal of Mechanical Science and Technology* 23 (2009) 2592~2602.
- [24] Chuan Qiong Sun, Ai Hua Ren , Guo Xing Sun. Optimum Design of Motion Curve of Cam Mechanism with Lowest Maximum Acceleration[J]. *Applied Mechanics and Materials* 08/2011.666-669.
- [25] Hua Qiu, Chang-Jun Lin, Zi-YeLi, etc. A universal optimal approach to cam curve design and its applications. *Mechanism and Machine Theory*, volume40, Issue 6, June2005, P669-692.
- [26] L. W. Sun, T. X. Su, J. F. Xu, Q. Wang, C. L. Xu, G. D. You, "Dynamics Analysis and Cam Profile Optimal Design of the Valve Train in the Diesel Engine with High Specific Power", *Advanced Materials Research*, Vols. 308-310, pp. 1636-1640, Aug. 2011