

# 基于 VT design 的凸轮型线设计

## Design of Cam profile based on VT design

赵海峰 孙黎明

(洛阳拖拉机研究所)

Zhao Haifeng Sun Liming

(Luoyang tractor Research Institute)

**摘要:** 本文详细介绍了如何利用 VT design 软件来进行凸轮型线设计, 分析了多种设计方案, 从中得到了最佳的凸轮型线。

**关键词:** VT design、发动机、凸轮型线、气门升程、

**Abstract:** In This paper, how to design the Cam profile with the software of VT design is introduced, and the best Cam profile is got through the analysis of various designs.

**Key words:** VT design、 Engine、 Cam profile、 Valve lift

### 1 概述

在发动机的配气结构中, 凸轮型线的设计对整个发动机的性能起着决定性的作用。凸轮型线设计要求包括以下几点: 1. 要使气门在准确的时刻开启和关闭。2. 使气门有良好的充气性能, 进气充分, 排气彻底。3. 使配气机构工作平稳, 振动噪声小。4. 凸轮与从动件接触应力不能过大。5. 凸轮从动件间要有良好的润滑特性。这些要求有些是互相制约的, 必须根据不同发动机的具体要求, 抓住主要矛盾, 协调各个因素, 妥善处理解决。

凸轮型线的设计一般分为两种方法: 一种是先根据凸轮外形和从动件形式, 求出从动件的升程、速度、加速度和时间面积值, 根据这些数值来校核凸轮的几何外形是否满足设计要求。另一种是从保证较大的时间面积值和较佳的配气机构动力学特性出发, 先给定从动件升程规律然后求出凸轮的几何形状。在现代的设计中, 第二种方法使用的越来越多, 凸轮的外形也一般为复杂的函数凸轮。

为了控制气门开启端的冲击和关闭端的落座速度, 凸轮型线一般都包括缓冲段, 缓冲段曲线的型式较多, 常见的有以下几种: 等加速型、余弦型、摆线型、等加速等速型。其中等加速型在缓冲段末端加速度不为零, 会产生较大的冲击。余弦型和摆线型在缓冲段末端加速度为零, 但是跃度并不为零, 在气门间隙变化时也会引起速度和加速度的变化, 产生一定的冲击。目前最常用的是等加速等速型, 其特点是缓冲段后半段的加速度为零, 而且跃度和更高阶导数也为零, 因而冲击较小, 气门间隙变化时也不会引起速度和加速度的变化, 因此与基本段的连接最好, 更适合高速发动机使

用。

凸轮基本段主要包括几何凸轮和函数凸轮。几何凸轮一般是由几段圆弧或直线段组成，由于在连接处曲率不连续，导致加速度曲线产生间断，产生冲击和噪声。函数凸轮一般是先确定从动件的升程，然后再推出凸轮的几何形状。函数凸轮总的来说分为整体式和组合式。整体式一般为高次方凸轮和  $N$  次谐波凸轮，其主要特点是光滑性较好，冲击噪声较小，但是丰满系数较小，设计难度较大。组合式一般是分段函数，由几个不同的表达式拼接而成。每一段的选择方式较多，包括等加速、等速、等跃度、三角函数、低次方等，这样型线调整余地较大，丰满系数和平稳性也能保证，但是由于参数较多，调整起来比较复杂。：

## 2 设计过程

现有某款发动机需要由 2 气门改为 4 气门，为了保持机型的通用性，配气相位基本保持不变。凸轮型线缓冲段的升程和角度不变，进、排气门的主升程都有所减小，进气门总升程定为 8.99，排气门总升程定为 9.28。下面需要设计新的凸轮型线来满足新机型的要求。

由于现有给定的条件都是气门升程的约束条件，所以下面就先对气门升程进行设计，然后再根据气门升程来推导出挺柱升程和凸轮外形。

### 2.1 设计软件介绍

为了对气门升程进行设计，这里使用了 GT-SUITE 软件中的 VT design 模块。VT design 包括两个工具，一个是凸轮型线设计工具 Cam Design，另一个是根据不同的凸轮气门结构由凸轮型线得到气门升程的工具 Valvetrain Design。有了这两个工具，就可以实现前面的凸轮型线设计工作。

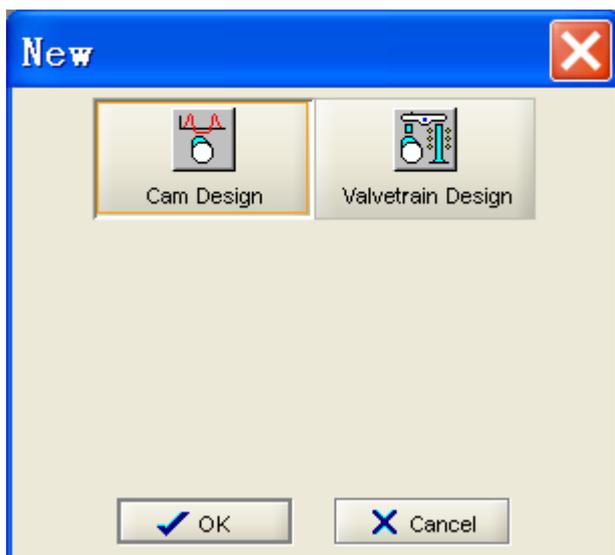


图1 VT DESIGN 模块

首先选择 Cam Design 工具模块，进入后要选择凸轮型线的设计方法，这个设计模块的凸轮型线都是组合式的分段低次方式，是一种比较灵活的设计方法，可以产生满足不同气门升程要求的凸轮型线。其中有几种预设的类型可以选择，包括全程气门凸轮型线、半程气门凸轮型线、油泵凸轮型线、线性加速度型线、线性跃度型线等，每种型线包括两个参数，一个是型线的总分区数，另一个是每个区函数的最高次方数。选定一种型线后，就可以进入型线的边界条件输入窗口。

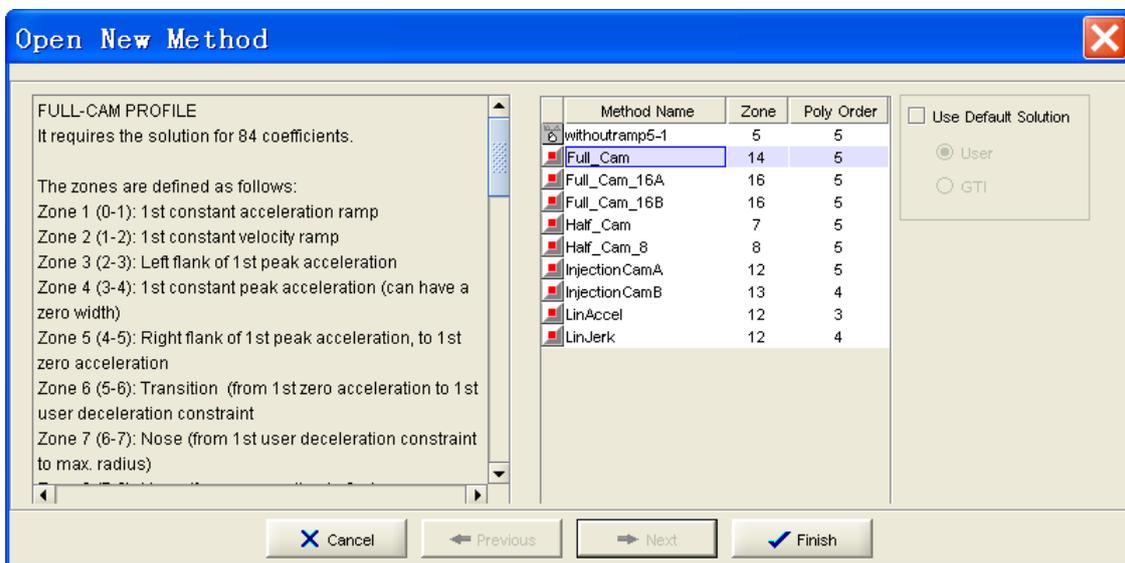


图2 凸轮型线设计方法选择

进入 Cam Design 界面后可以看到升程、速度、加速度、跃度、以及更高导数的曲线和凸轮曲率半径。图中各个区域的角度可以更改，还有一些特征点的数据可以更改，以满足不同设计的要求。在数据调整的同时，图中的曲线会跟着发生变化，同时在右上角看到当前曲线的丰满系数，在第二页可以看到更高次方的导数结果和凸轮的曲率半径。

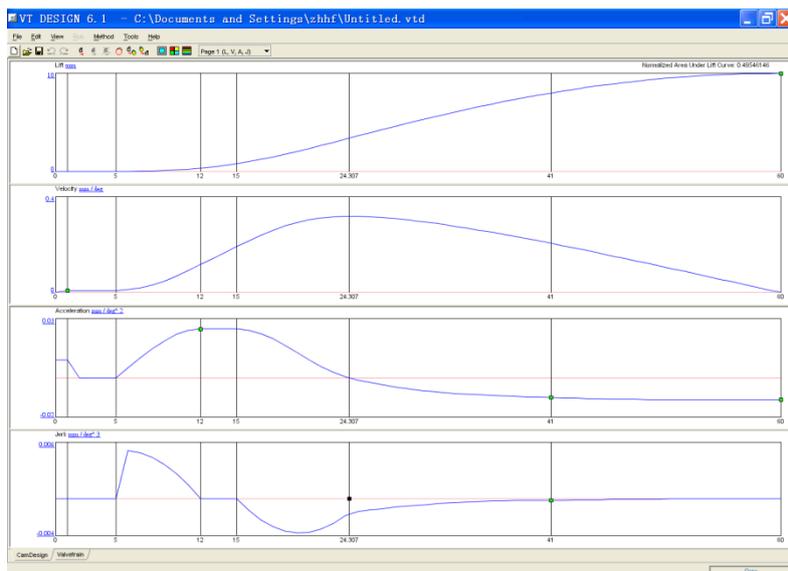


图3 凸轮型线设计界面

点击 Input 菜单，可以进入输入参数列表。从表中可以看到各段区域的角度、已经定义的特殊点的升程、速度、加速度、跃度数据，对表里的数据都可以进行修改，结果会直接在图中显现。

Input Data

Method Name: Half\_Cam

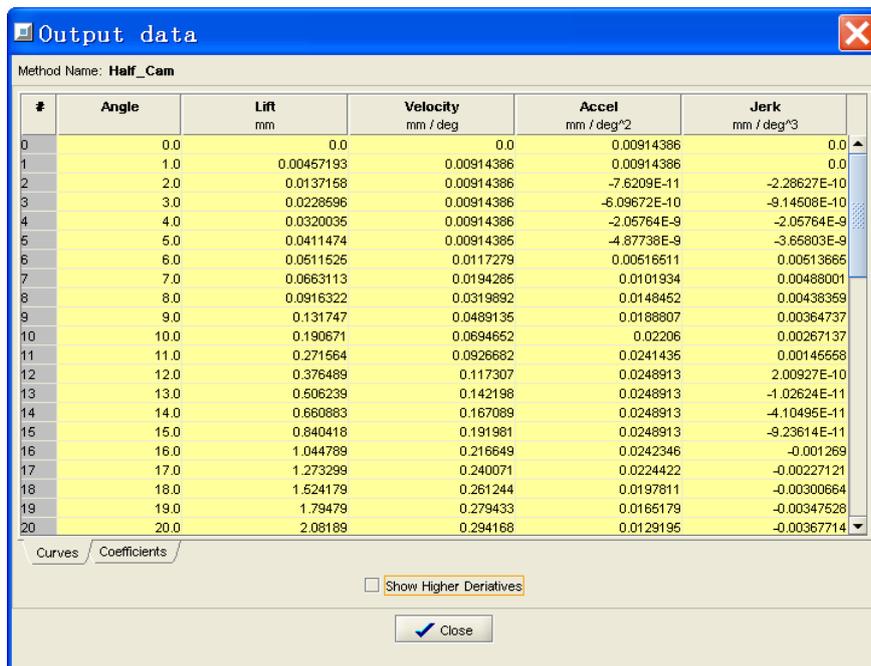
#	Angle	Lift mm	Velocity mm / deg	Accel mm / deg <sup>2</sup>	Jerk mm / deg <sup>3</sup>
Boundary 0	0.0				
Boundary 1	1.0		0.00914386		
Boundary 2	5.0				
Boundary 3	12.0			0.0248913	
Boundary 4	15.0				
Boundary 5	24.30671				0.0
Boundary 6	41.0			-0.00989739	-2.03793E-4
Boundary 7	60.0	9.999999		-0.0111372	

User Constraints External Profile Cam Data

Close Cancel

图4 凸轮型线设计输入参数表

点击 Output 菜单，可以进入输出参数列表。从表中可以看到整个曲线各个角度下的升程、速度、加速度、跃度的数值，也可以得到各段区域的低次方各项式系数以便来确定各段区域的表达式。



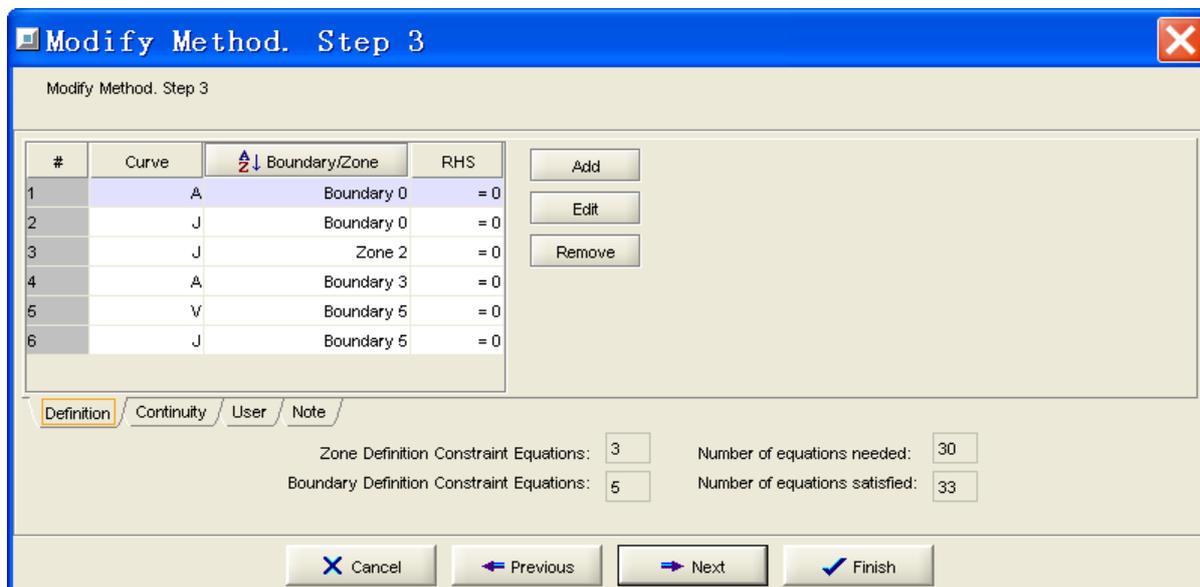
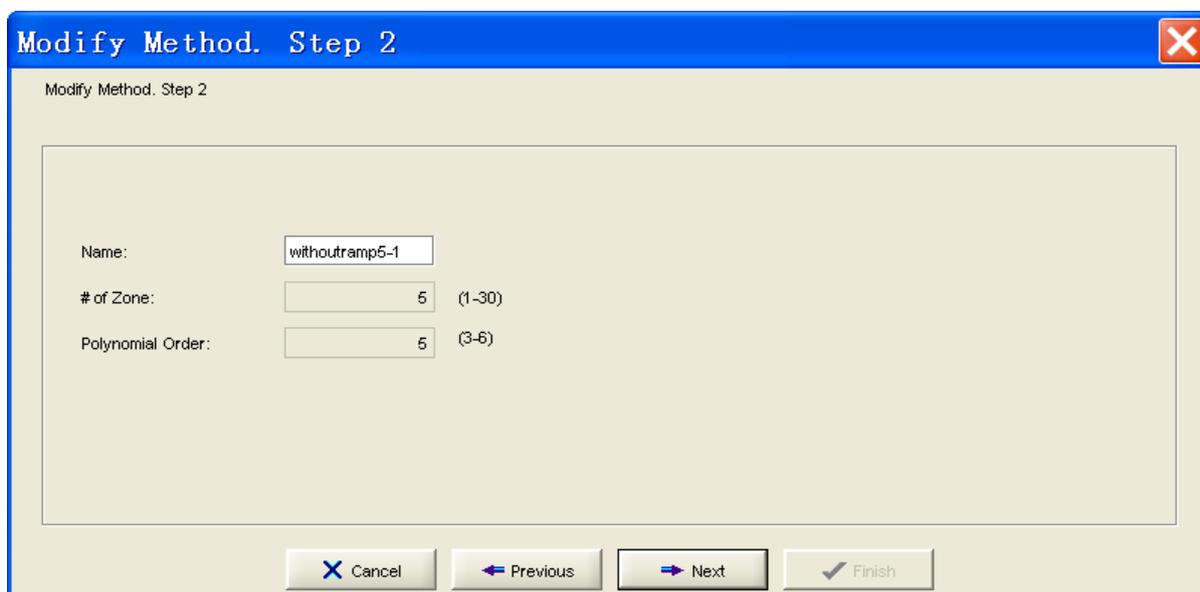
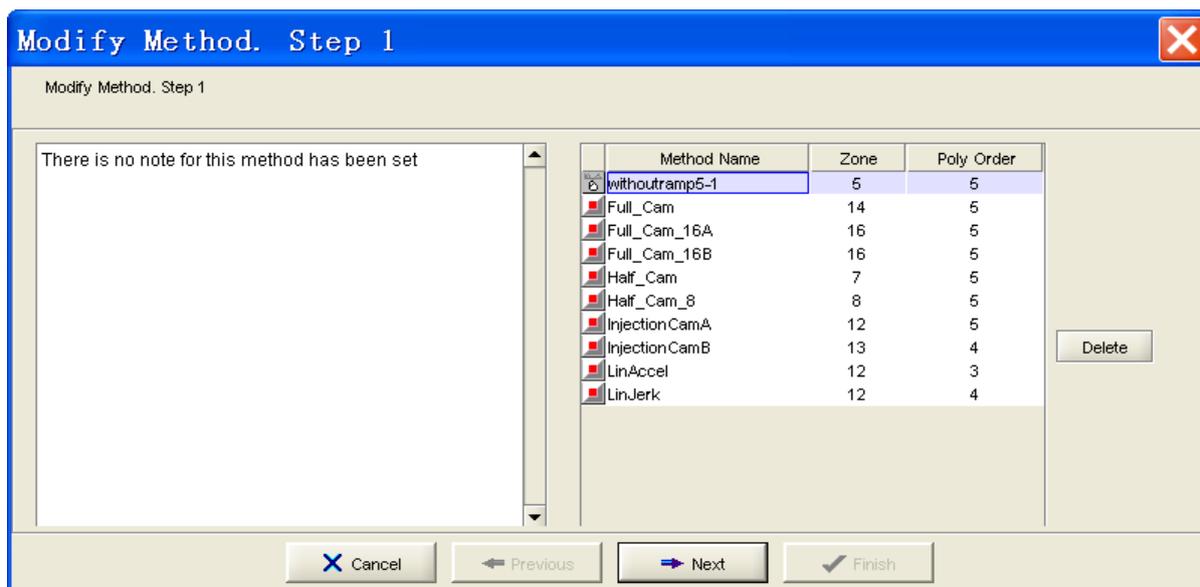
#	Angle	Lift mm	Velocity mm / deg	Accel mm / deg <sup>2</sup>	Jerk mm / deg <sup>3</sup>
0	0.0	0.0	0.0	0.00914386	0.0
1	1.0	0.00457193	0.00914386	0.00914386	0.0
2	2.0	0.0137158	0.00914386	-7.6209E-11	-2.28627E-10
3	3.0	0.0228596	0.00914386	-6.09672E-10	-9.14508E-10
4	4.0	0.0320035	0.00914386	-2.05764E-9	-2.05764E-9
5	5.0	0.0411474	0.00914385	-4.87738E-9	-3.86803E-9
6	6.0	0.0511525	0.0117279	0.00618511	0.00513665
7	7.0	0.0663113	0.0194285	0.0101934	0.00488001
8	8.0	0.0916322	0.0319892	0.0148452	0.00438359
9	9.0	0.131747	0.0489135	0.0188807	0.00364737
10	10.0	0.190671	0.0694652	0.02206	0.00267137
11	11.0	0.271564	0.0926682	0.0241435	0.00145658
12	12.0	0.376489	0.117307	0.0248913	2.00927E-10
13	13.0	0.506239	0.142198	0.0248913	-1.02624E-11
14	14.0	0.660883	0.167089	0.0248913	-4.10495E-11
15	15.0	0.840418	0.191981	0.0248913	-9.23614E-11
16	16.0	1.044789	0.216649	0.0242346	-0.001269
17	17.0	1.273299	0.240071	0.0224422	-0.00227121
18	18.0	1.524179	0.261244	0.0197811	-0.00300664
19	19.0	1.79479	0.279433	0.0185179	-0.00347528
20	20.0	2.08189	0.294168	0.0129195	-0.00367714

图 5 凸轮型线设计输出参数表

## 2.2 设计过程

由于我们选择设计的是对称凸轮，所以我们选择半程气门升程型线即可，其中包括 Half\_Cam 和 Half\_Cam\_8 两种，其区别是一种是等加速等速缓冲段，一种是线性跃度等跃度等速缓冲段，由于我们原始凸轮是等加速等速缓冲段，这里可以选择 Half\_Cam 类型来进行设计。可以看出 Half\_Cam 是包括 7 段区域，分别是等加速缓冲段、等速缓冲段、正加速度上升段、最大加速度段、正加速度下降段、负加速度前段、鼻角段。每段最高次方为 5 次，所以可以保证跃度的导数连续。由于我们的缓冲段是已知的，所以我们不需要缓冲段的设计，我们希望有一个简化的设计方法。

这里可以使用 Cam Design 的自定义方法，定义方法包括定义区域数、最高次方数、各区域内的特征定义、相邻区域的连续性定义、用户自定义等，这样可以定义一个无缓冲段的 5 段区域、最高 5 次方的设计方法。下面是重新修改和定义新方法 withoutramp5-1 的过程图：



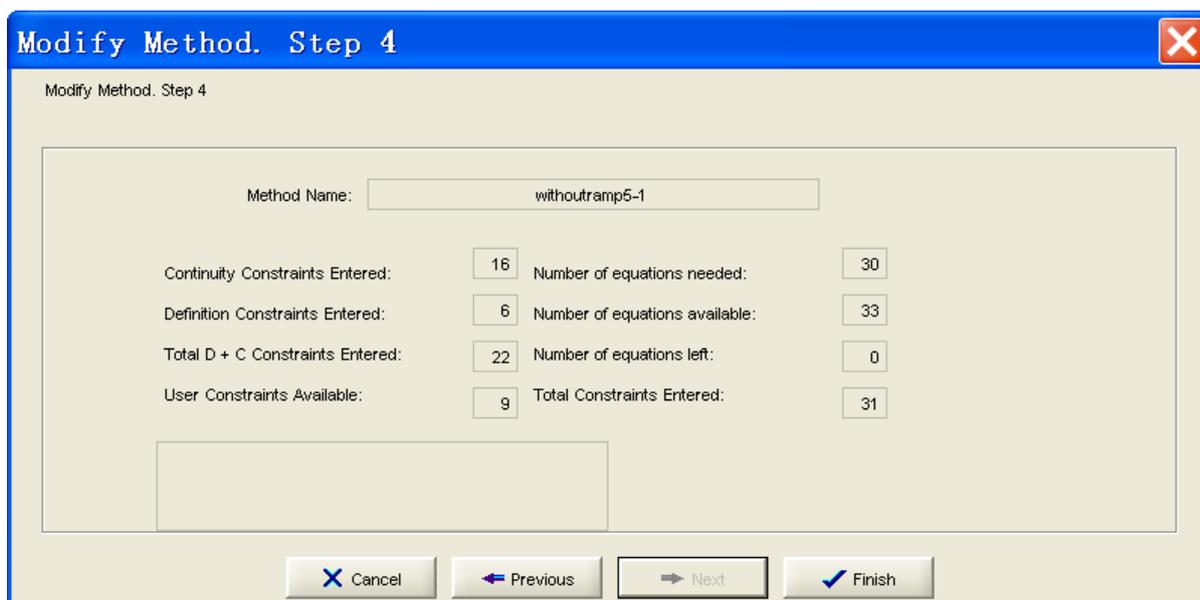


图 6 凸轮型线设计方法的修改过程

在定义完最新的凸轮设计方法后，重新进入 Cam Design 工具，选择新建的 withouramp5-1 方法，即进入的自定义凸轮型线设计界面。然后输入需要定义的特殊点，在这里我们定义的特殊点包括最大升程，初始升程，初始速度，并且这些是不可以调整的，另外最大负加速度和跃度等值也需要指定，但是在一定范围内是可以调整的。在特殊点定义完成后，既可以得到各条曲线的形状，并根据曲线的形状进行进一步的微调使得速度、加速度、跃度曲线更加光滑，提高曲线的质量。下面是设计好的一条气门升程的曲线形状，可以看出速度、加速度、跃度曲线都很平滑，没有折线、尖角，各个区域的连接处相切现象也比较满意。

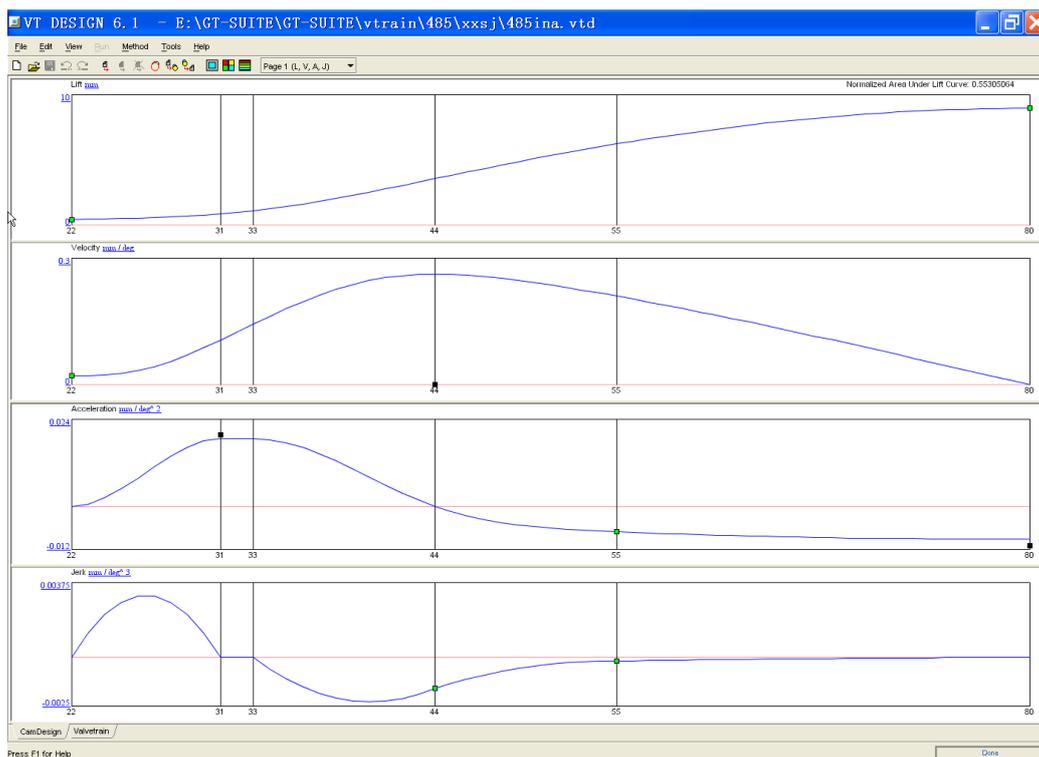


图 7 加上用户数据的升程、速度、加速度、跃度图

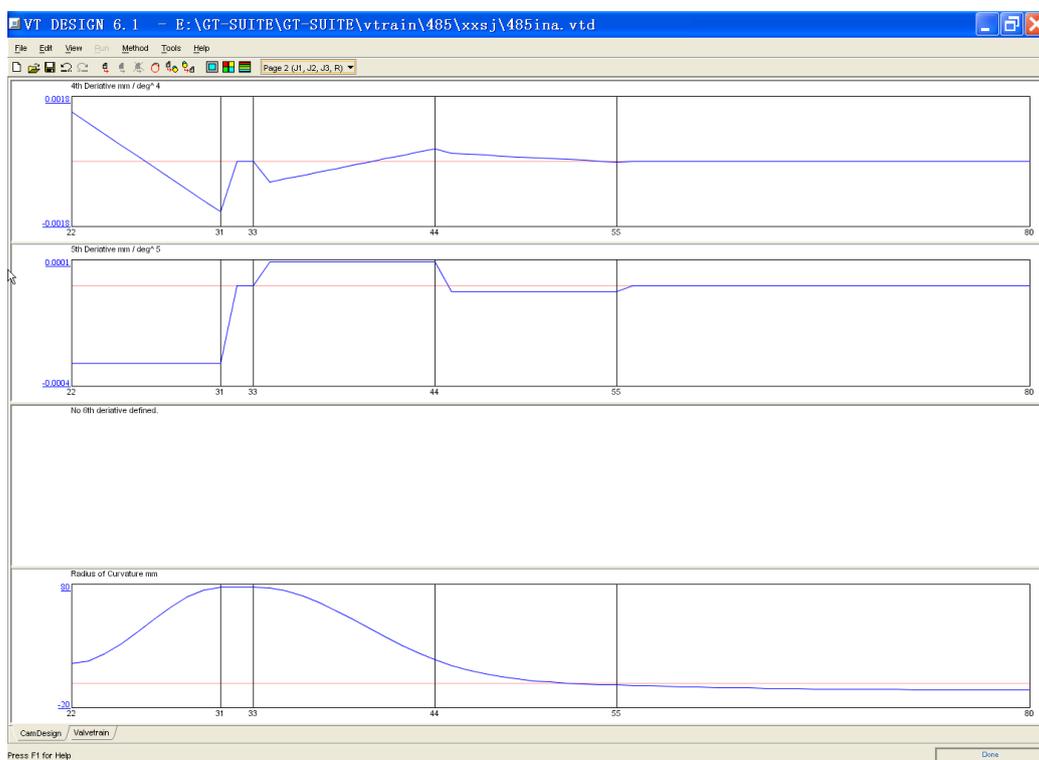


图 8 加上用户数据的更高阶导数和凸轮曲率图

在完成气门升程的曲线后，还需要得到凸轮的外形数据，下面可以使用 VT design 中 Valvetrain Design 工具模块来由气门升程得到凸轮的升程。在 Valvetrain Design 中可以考虑凸轮、挺柱、推杆、摇臂、气门的位置、气门间隙和摇臂转动过程中摇臂比的变化对气门升程的影响，可以得到相对准确的凸轮与气门升程关系。

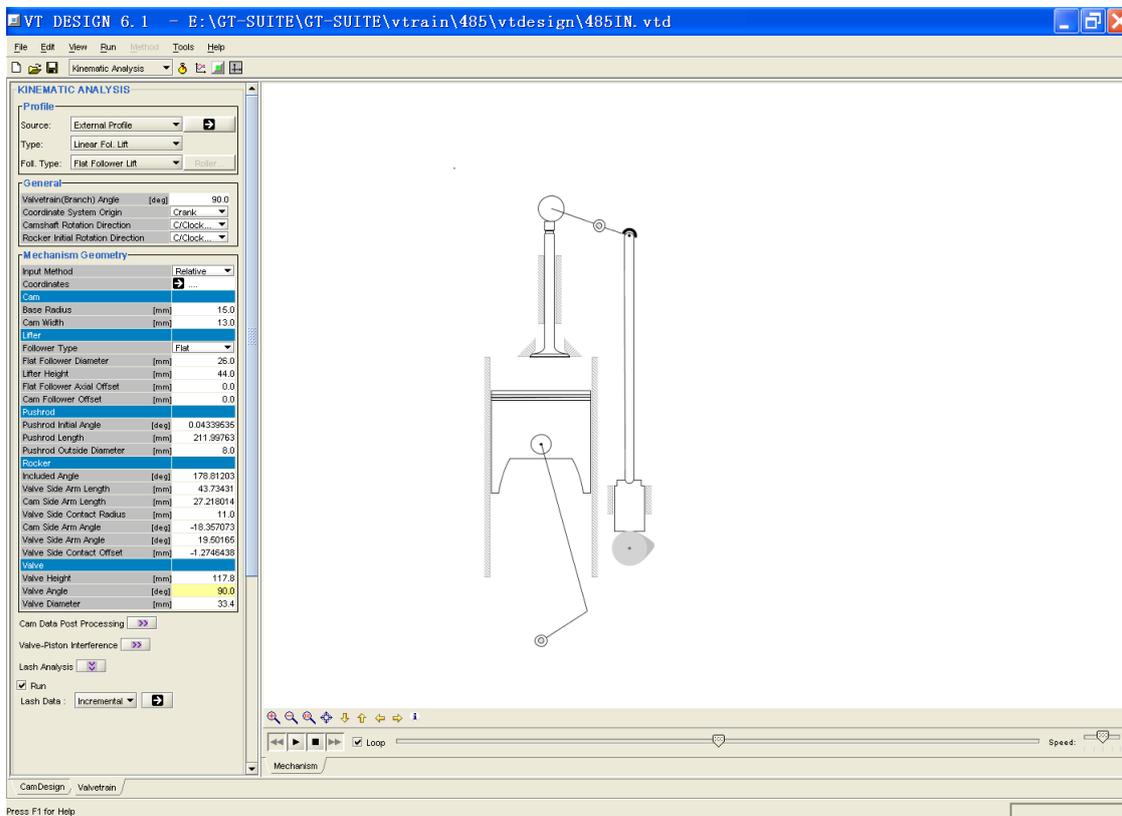


图 9 Valvetrain Design 模型界面图

在 Valvetrain Design 中需要输入凸轮的位置、基圆半径、宽度，挺柱的类型、半径、高度，推杆的角度、长度，摇臂的两端臂长、两端角度、包角、气门端接触半径等，气门的直径、长度、角度等。在型线数据中，可以输入上面设计的气门升程曲线，这样经过计算就可以得到凸轮的外形和挺柱的升程。下面就是得到的凸轮外形和挺柱、气门的升程曲线。

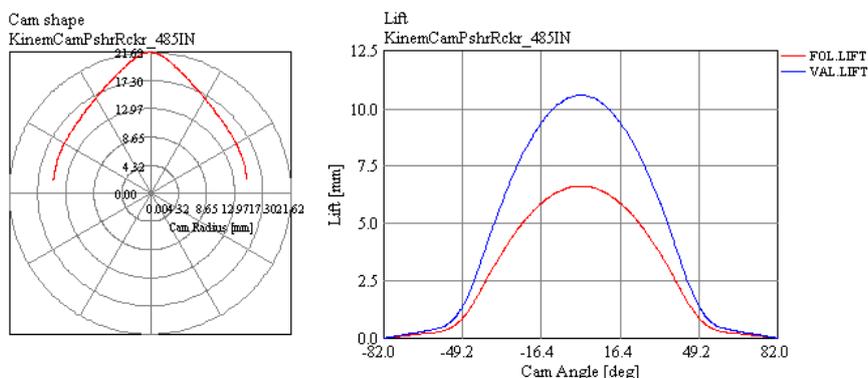


图 10 Valvetrain Design 得到的凸轮外形和挺柱、气门升程

### 2.3 不同设计的比较

为了对设计的凸轮曲线进行比较，一共设计了三种进气门曲线、三种排气门曲线。为了在三个曲线中选择较好的曲线，又使用了 GT-VTRAIN 软件对其进行了动力学计算，对气门反跳、运动件脱离、凸轮接触应力、弹簧应力等进行了分析，最后找到了最优的气门型线。

## 3 总结

本文使用了 VT design 软件设计了多种气门升程曲线，然后从气门升程反推出凸轮的型线和挺柱升程，并对多种气门升程曲线进行了计算，选择了最优的气门型线。

在使用过程中发现 VT design 是一款十分好用的凸轮型线设计软件，由于其内置多种凸轮设计方法，可以十分方便的设计出满足要求的气门升程曲线，同时还有计算气门升程与挺柱升程的相互转化的模块，完全可以满足凸轮型线设计的需要。

## 4 参考文献

- [1] 杨连生 《内燃机设计》中国农业机械出版社 1980
- [2] 陈达民 《柴油机设计手册》中册-配气机构 中国农业机械出版社 1984
- [3] 尚汉冀 《内燃机配气凸轮机构-设计与计算》复旦大学出版社 1988