单质量模型介绍：

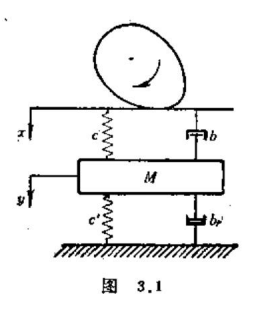
在第一章中我们已经说过，对于现代高速内燃机，传统的配气机构运动学计算往往不足以准确地描述配气机构各传动零部件的运动规律，因而在进行配气机构的动力学计算时，必须考虑到弹性变形。由于配气机构的整个传动链是由一系列几何形状和刚度、质量各不相同的零部件组成的，而且各零部件之间在运动过程中还可以产生脱开现象，因此要精确描述它们的运动比较烈难，一般需要建立一定的简化计算模型。本节首先介绍一种最简单的模型——单自由度的质量一弹簧振动模型。

微分方程和初始条件

把配气机构简化成图3.1所示的单自由度振动模型。它把气门的运动用一个集中质量M的运动来描述（这里M包含有气门质量以及其他传动零件换算到气门处的质量），M的一端通过刚度为c'的气门弹簧与气缸盖联结，而另一端联结一假想的刚度为k的“弹簧”，此弹簧的上端则由“当量凸轮”直接控制，其运动规律是已知的：

：等效凸轮升程**;**：摇臂比；：气门间隙；：挺柱升程函数，易知实际上就是**将配气机构当作完全刚性时的气门升程函数**。

在上面的模型中，所谓的刚度为c的“弹簧”实际上代表着**整个传动链的弹性**，刚度k可通过实测或计算得到。图3.1中的b和加则分别表示**内阻尼**和**外阻尼**。



我们的目的是要确定气门升程函数，也就是集中质量的位移依赖于凸轮轴转角的表达式。为此，首先要建立所满足的微分方程并给出初始条件。

假设作用在集中质量上的外力之总和为，则显然应有

：集中质量所受合力；：质点的集中质量；

：质点加速度； 为集中质量位移

为凸轮旋转角速度；

为凸轮转角

所受的合力包括如下几种力：

1. **配气机构的弹性恢复力**（从动件等效弹簧的弹性力），可表示为

K：从动件等效弹簧的弹簧刚度

：代表弹簧变形量，因为从动件受拉时会脱开，没有弹性恢复力，所以可以用分段函数表示

1. **气门弹簧的弹力**，：气门弹簧刚度
2. **气门弹簧预紧力**
3. 气缸内起到之间压差造成的**气体对气门作用力（进气门可以不考虑）**
4. **内阻尼力**，：阻尼系数
5. **外阻尼力**

(3-5)是关于未知函数的二阶常微分方程，他有无穷多个解，为了得到气门升程函数，还需要补充给出以下两个初始条件。其中，微分方程的初始条件为在气门打开瞬间，气门位移和气门速度均为零，如下式子：

为了计算和分析问题的方便，可以不直接找（3-5）（3-6）的解。而引入一个新的未知函数来代替：

此时可以得出应满足的微分方程：

(3-8)右端为的已知函数，记为，

此时，初始条件（3-6）变为：

如果我们记，并把它也当成一个未知函数，那么就可以把二阶方程（3-8）改写为关于未知函数z和的一阶微分方程组：

初始条件（3-9）变为

(3-10)中的应写为：

这样，问题已归结为如何求一阶微分方程组（3.10）满足条件（3.11）的解，可以使用龙哥库塔法求数值解，详见29

将这样解得的和代入（3.8）即可得，再根据（3.7）可得、和。

原始数据的确定

计算起点

对应于气门开启的瞬时，§2.2中讨论缓冲段全程的取法时我们曾经指出当，时应成立（2-17）式，即应视为以下方程的解：

或引进函数

当时应满足方程

（3-15）是一个超越方程，对它可有多种求根的近似方法，例如不妨采用比较简单易行的对分法求解。如记为对应于缓冲段终点的角则求根的原始区间不妨取为将此区间蒸次对分直至取到使充分小的为止，关于对分法的介绍可参看[29]或[30]。

燃气作用力

设气内气体压力为，气门背面气道内的压力为（有时可近似取为1个大气压），气门底盘面积为，气门受到作用的面积为，则

函数 可根据示功图绘出，为简单起见，可近似取作

其中均为常数

这就是说，将曲线变化较急剧的一段当作一抛物线，而变化平缓的一段当作直线。这里和可借助于示功图选定，又在图形上任取三点，根据二次曲线必须通过此三点的条件可定出，例如所选三点为，而相应的压力为可得

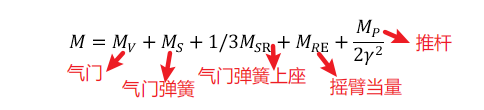
解该方程组，可得

配气机构刚度

刚度可以通过计算来确定（见[5]），也可以由实测得到。我们一般采用实测。在图3.2所示的装置中，AB为杠杆，C为支点，A端与摇臂顶头接触，而B端可以逐步加毅和载。在加载和卸载过程中，用百分表测出摇臂顶头的位移，即系统零件的变化总量，系统加载量与变形量比值的平均值即为刚度。

对于大型柴油机，一般不用杠杆，而采用行车起吊摇臂的方式加载。载荷读数可由“吊磅”读出沪东造船厂等曾用此法成功地测定了刚度

集中质量

集中质量可由下式得出

摇臂当量质量：

：摇臂转动惯量，：摇臂在气门侧的长度

摇臂转动惯量：可以通过计算或实测来决定。我们曾采用重力法进行实测。先将两根摇臂与一根轴套在一起，测出其转动惯量然后将摇臂拿掉，单独测定轴的转动惯量轴，从而摇臂转动惯量即为测定的计算公式为：

测定：

这里为所加砝码的重量，为下落高度，为记录的下落时间，为轴的半径，测定的计算公式与此相仿，但下落时间是对单独测定轴的情况来说的。

阻尼系数

确定阻尼系数的方法比较复杂，文献[15]简易，将阻尼系数取为：单位为

弹簧刚度

取，、分别指内外弹簧的刚度

计算实例

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 值 | 单位 |
| 机构刚度 | 230 |  |
| 气门弹簧刚度 | 1.16 |  |
| 气门弹簧预紧力 | 8 |  |
| 集中质量 | 0.00001142857 |  |
| 内阻尼系数 | 0.005499664 |  |
| 凸轮轴转速 | 1300 |  |
| 摇臂比 | 1.135 |  |
| 气门间隙 | 0.15 |  |

凸轮参数

|  |  |
| --- | --- |
| 型线 |  |
| 缓冲段升程 |  |
| 缓冲段包角 |  |
| 基本段净升程 |  |
| 基本段半包角 |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

凸轮型线计算

若已经给出，可以算出

算出

再算出

最后得到凸轮行程

凸轮型线解法2

凸轮升程函数是一个分段函数，有不同的数值拟合法，其中较好的数值拟合方法是次谐波凸轮逼近法由于凸轮升程必定是以为周期的函数，故要有适当的光滑性，就可以在之间展开为如下的富里埃函数：

刘晓勇

高安津

张学强：复刻了凸轮设计书的知识

董锡明：此式为二阶线性微分方程，根据配气机构已知参数，算妤系数，给定初始条件，则可求解。为得到较高的计算精度，采用龙格一库塔（Runge-Kutta）法进行数值积分。

计算程序中的凸轮升程可以有两种输入形式。一种是以表格形式输入，计算点的凸轮升程采用插值法求得。为了保证插值一阶导数连续而采用样条（Spline）函数插值。另一种形式是计算程序中编制了凸轮计算公式，只要输人凸轮参数就能自动计算岀凸轮升程对方程进行数值积分时，为保证方程收敛，计算间隔不能很大，一般计算步长取0.20.5°凸轮转角。在计算过程中，还要对一些非线性因素进行判断。首先须要判断机构是处于气门间隙段还是气门开启段，不同的阶段须按不同的公式进行计算。同时还要判断机构是否会岀现脱离弹瞅现象，即配气机构由亍惯性力大于弹簧力，而使之脱离凸轮控制。如果脱离则整个系统的运动规律不受凸轮型面控制，而产生系统的自由振动。当此自振系统在弹簧力作用下重新落在凸轮型面上时将产生冲击。此时还须校验机构有无回弹现象。根据判断结果，须按不同的公式和初始条件分别进行计算。在凸轮升程终了附近气门落座，如果落座速度很大，气门弹簧又不够强时，则仍会产生气门的弹跳现象。

因此计算过程相当繁复，要时刻判断配气机构工作在那一运动阶段，是否脱离弹眺？如产生脱离现象，则时而脱开，时而返回，须根据不同情况采用不同公式，给以不同的初始条件。