

67-74

13

一种抗侧倾汽车油气悬架的 刚度分析及设计方法

The Stiffness Analysis and the Design Method of a Kind of Automobile Hydro-Pneumatic Suspension with High Lateral Stability

邓兆祥

Deng Zhaoxiang

(重庆大学汽车工程系, 重庆, 630044)

摘 要 对一种抗侧倾的汽车油气悬架进行了铅垂线刚度特性和侧倾角刚度特性分析, 在此基础上导出了它的计算方法。

关键词 油气悬架; 刚度; 设计方法

中国图书资料分类法分类号 U463.33

ABSTRACT A kind of hydro-pneumatic suspension with high lateral stability was introduced in this paper. Analysis were made to its vertical linear stiffness properties and lateral angular stiffness properties. On the basis of the analysis, the formulas of its design calculation and method were presented here.

KEYWORDS hydro-pneumatic suspension; stiffness; design method

0 引 言

采用油气悬架是提高汽车行驶平顺性、通过性及燃油经济性的重要途径。目前国外除在重型汽车、自卸车及汽车起重机上普遍采用油气弹簧外, 在轿车上也日益广泛地采用油气悬架, 以满足人们对汽车乘坐舒适性不断提高的要求^[1,2]。

良好的行驶平顺性一般要求刚度偏低的弹簧, 这导致悬架侧倾角刚度过低, 在弯道行驶时, 车身倾斜厉害, 一方面使乘员感觉不适, 另一方面使汽车的转向特性发生变化, 从而破坏汽车行驶的稳定性^[3]。一般悬架是通过附加专门的横向稳定装置(如横向稳定杆)来提高侧倾角刚度, 但在油气悬架中本可以很容易通过油路沟通将左右两侧的油气弹簧联系起来, 以抵抗车身的侧倾, 但目前应用的大部分油气悬架的左右油气弹簧油路在路面行驶时相互独立, 仍沿用一般悬架的横向稳定装置来抵抗侧倾。

本文将介绍一种抗侧倾的油气悬架结构方案*, 并就其性能与一般油气悬架进行详细的对比分析, 最后给出这种抗侧倾油气悬架的设计计算公式和设计方法。

1 一种抗侧倾油气悬架方案

一种利用油气自身特性提高侧倾角刚度的方案如图1所示, 在一个桥的悬架中布置左右各一个工作油缸和蓄能器, 其一侧油缸的下腔与另一侧的上腔油路相通, 两个蓄能器作用相同, 每个均供两边的油缸共用, 如一侧提供主腔压力(下腔压力), 则另一侧提供背压(上腔压力)。这种方案其结构左右完全对称, 与汽车质量分布的对称性是一致的, 可以看成由两个相同的带反压气室油气弹簧共享蓄能器而构成。

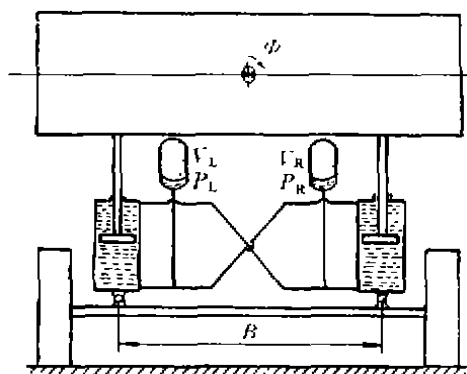


图1 抗侧倾油气悬架

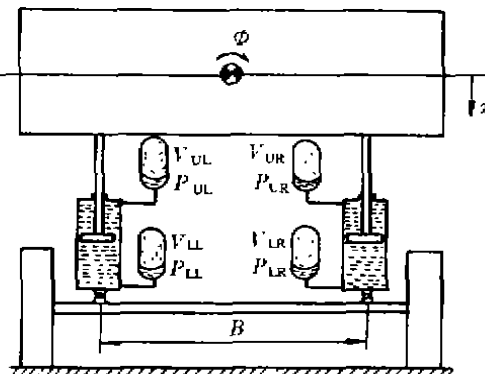


图2 普通油气悬架

当车身受到侧倾力矩作用时, 它的悬架一侧油气弹簧的活塞杆承受附加的压缩力, 该侧车身下沉; 另一侧活塞杆则承受附加的拉力, 该侧车身上升。在受压缩的一侧, 下腔压力增高, 由于油路沟通, 使另一侧上腔压力增大迫使活塞连同车身跟随下降的趋势, 这与在该侧弹簧受拉伸、车身上升的情形相抵抗; 同样地, 在受拉伸的一侧, 下腔压力减小, 吸入油液, 将使另一侧产生活塞上移、车身跟随上升的趋势, 恰与在该侧弹簧受压缩、车身下降的情形相抵抗。可见, 左右两侧弹簧油路的沟通产生了抗侧倾的效应。

与使用带反压气室油气弹簧的普通油气悬架(图2)相比, 抗侧倾油气悬架结构更简单, 每桥节省了两个蓄能器。

2 刚度特性分析

2.1 普通油气悬架的刚度特性

图2所示的普通油气悬架由两个相同的带反压气室油气弹簧并联而成, 容易导出其铅垂线刚度 K_g 和侧倾角刚度 C_g 为:

$$K_g = nA_c^2 \left[\frac{P_{LL}}{V_{LL}} + \frac{P_{LR}}{V_{LR}} \right] + nA_c^2 \left[\frac{P_{UL}}{V_{UL}} + \frac{P_{UR}}{V_{UR}} \right] \quad (1)$$

* 德 LTM1125 轮式越野起重机采用了类似方案

$$C_g = \frac{1}{4} n B^2 \left[A_c^2 \left(\frac{P_{Ll}}{V_{Ll}} + \frac{P_{Lr}}{V_{Lr}} \right) + A_c^2 \left(\frac{P_{Ul}}{V_{Ul}} + \frac{P_{Ur}}{V_{Ur}} \right) \right] \quad (2)$$

式中 n 是气体多变指数; B 表示两侧油气弹簧的安装距离; A_c 表示油缸内活塞有效面积; $A_c = A_c - A_l$ 为有杆腔有效面积, A_l 表示活塞杆横截面积; P 表示油腔或蓄能器压力; V 表示蓄能器内气体体积; 第一个下标 L 表示下腔; U 表示上腔; 第二个下标 L 表示左侧弹簧; R 表示右侧弹簧。

(1) 式表示的单桥悬挂刚度是两个带反压气室油气弹簧刚度之和, 当不考虑侧倾角 φ 的影响时, 可把 (1) 式写成车身质心铅垂位移 x 的函数*:

$$K_g = 2n P_0 V_0 \left[\frac{A_c^2}{(V_0 - A_c x)^{n+1}} + \frac{A_c^2}{(V_0 - A_c x)^{n+1}} \right] = K_1 + K_2 \quad \text{N/m} \quad (3)$$

式中: P_0 、 V_0 表示静平衡位置时的蓄能器压力和气体体积; $K_1 = 2n P_0 V_0 A_c^2 / (V_0 - A_c x)^{n+1}$; $K_2 = 2n P_0 V_0 A_c^2 / (V_0 - A_c x)^{n+1}$ 。

不考虑铅垂位移 x 的影响时, 可把 C_g 表示为侧倾角 φ 的函数:

$$C_g = \frac{1}{4} n B^2 P_0 V_0 \left\{ \frac{A_c^2}{(V_0 - \frac{B^2}{4} A_c^2 \varphi^2)^{n+1}} \left[\left(V_0 + \frac{B}{2} A_c \varphi \right)^{n+1} + \left(V_0 - \frac{B}{2} A_c \varphi \right)^{n+1} \right] \right. \\ \left. + \frac{A_c^2}{(V_0 - \frac{B^2}{4} A_c^2 \varphi^2)^{n+1}} \left[\left(V_0 + \frac{B}{2} A_c \varphi \right)^{n+1} + \left(V_0 - \frac{B}{2} A_c \varphi \right)^{n+1} \right] \right\} \quad \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1} \quad (4)$$

2.2 抗侧倾油气悬架的刚度特性

对图 1 所示的抗侧倾油气悬架容易列出如下力平衡关系:

$$Q_L = (P_L - 1) A_c - (P_R - 1) A_c, \quad \text{N} \quad (5)$$

$$Q_R = (P_R - 1) A_c - (P_L - 1) A_c, \quad \text{N} \quad (6)$$

和气体状态方程:

$$P_L = P_0 \left(\frac{V_0}{V_L} \right)^n \quad (7)$$

$$P_R = P_0 \left(\frac{V_0}{V_R} \right)^n \quad (8)$$

式中: A_c 表示油缸内活塞有效面积, $A_c = A_c - A_l$ 为有杆腔有效面积, A_l 表示活塞杆横截面积; P 表示油腔压力; V 表示蓄能器内气体体积; Q 表示油缸负荷, 用下标 L 表示左侧; 下标 R 表示右侧, 下标 0 表示静平衡位置, 假设两个蓄能器在静平衡位置的状态是相同的, 这与结构的对称性是一致的。

并注意到有如下容积关系成立:

$$V_L = V_0 - \left(x - \frac{B}{2} \varphi \right) A_c + \left(x + \frac{B}{2} \varphi \right) A_c \quad (9)$$

$$V_R = V_0 - \left(x + \frac{B}{2} \varphi \right) A_c + \left(x - \frac{B}{2} \varphi \right) A_c \quad (10)$$

将 (7) ~ (10) 式代入 (5)、(6) 式, 易导出悬架在铅垂方向承受总载荷为:

$$Q = Q_L + Q_R$$

* LTM1125 油气悬架结构参数设计研究报告, 重庆大学汽车系, 1992

$$= P_0 V_0^* A_r \left[\frac{1}{\left(V_0 - A_r x + \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^n} + \frac{1}{\left(V_0 - A_r x - \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^n} - 2 \right] \quad (11)$$

承受侧倾力矩为:

$$\begin{aligned} M &= (Q_R - Q_L) \frac{B}{2} \\ &= \frac{B}{2} P_0 V_0^* A_{\sigma} \left[\frac{1}{\left(V_0 - A_r x - \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^n} - \frac{1}{\left(V_0 - A_r x + \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^n} \right] \end{aligned} \quad (12)$$

其中 $A_{\sigma} = 2A_L - A_r$

由(11)式对 x 求导得悬架的铅垂线刚度为:

$$\begin{aligned} K_a &= n A_r^2 P_0 V_0^* \left[\frac{1}{\left(V_0 - A_r x + \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^{n+1}} + \frac{1}{\left(V_0 - A_r x - \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^{n+1}} \right] \\ &= n A_r^2 \left[\frac{P_L}{V_L} + \frac{P_R}{V_R} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

由(12)式对 φ 求导得悬架的侧倾角刚度为:

$$\begin{aligned} C_a &= \frac{n B^2}{4} A_{\sigma}^2 P_0 V_0^* \left[\frac{1}{\left(V_0 - A_r x + \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^{n+1}} + \frac{1}{\left(V_0 - A_r x - \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^{n+1}} \right] \\ &= \frac{1}{4} n B^2 A_{\sigma}^2 \left[\frac{P_L}{V_L} + \frac{P_R}{V_R} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

式(13)说明图1所示悬架的刚度并不等于两个普通的带反压气室油气弹簧的并联,但在形式上可看成两个特别的有反压油气弹簧的并联,这种弹簧油缸上下腔共用一个气室压力恒等.若不考虑侧倾角 φ 的影响,则(13)式就完全等效于两个上下腔共用气室的油气弹簧的并联,可以写成 x 的函数,即:

$$K_a = 2n P_0 V_0^* \frac{A_r^2}{(V_0 - A_r x)^{n+1}} \quad (15)$$

式(14)说明侧倾角刚度在形式上可看成两个同样的上下腔共用一个气室且等效活塞杆截面面积为 A_{σ} 的油气弹簧的并联,当不考虑铅垂位移 x 的影响时,(14)式可写成 φ 的函数,即:

$$C_a = \frac{1}{4} n B^2 P_0 V_0^* \frac{A_{\sigma}^2}{\left(V_0^2 - \frac{1}{4} B^2 A_{\sigma}^2 \varphi^2 \right)^{n+1}} \left[\left(V_0 + \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^{n+1} + \left(V_0 - \frac{B}{2} A_{\sigma} \varphi \right)^{n+1} \right] \quad (16)$$

2.3 铅垂线刚度特性的对比分析

为便于比较,设图1和图2中悬架采用相同油缸,其安装位置相同,在静平衡位置时各蓄能器的压力及气体体积均相同。

由于油气弹簧刚度的非线性,导致悬架铅垂线刚度既是铅垂位移 x 也是侧倾角位移 φ 的函数.由式(13)可见,改变 φ 可得一族铅垂线刚度特性曲线。

令 $\varphi = 0$,即得曲线族中最典型的一根,一般用作设计和评价刚度特性的依据,对抗侧倾悬架其表达式为(15)式,对普通悬架其表达式为(3)式.在此两式中令 $n = 1$ 得到静刚度特性:

$$K_{st} = 2P_0V_0 \left[\left(\frac{A_c}{V_0 - A_c x} \right)^2 + \left(\frac{A_e}{V_0 - A_e x} \right)^2 \right] \quad (17)$$

$$K_{st} = 2P_0V_0 \left(\frac{A_c}{V_0 - A_c x} \right)^2 \quad (18)$$

比较(17)、(18)两式并注意到如下基本关系:

$$A_c > A_e \quad (19)$$

$$V_0 - A_e x > 0 \quad (20)$$

$$\frac{A_c}{V_0 - A_c x} > \frac{A_e}{V_0 - A_e x} > 0 \quad (21)$$

可得: $K_{st} > K_{st}$, 说明抗侧倾油气悬架的铅垂线静刚度恒小于普通油气悬架的。

若取 $1.4 \geq n > 1$, 则式(15)和(3)分别表示两种悬架的铅垂线动刚度。在悬架的静平衡位置和压缩行程($x \geq 0$), 因有:

$$\frac{A_c^2}{(V_0 - A_c x)^{n+1}} > \frac{A_e^2}{(V_0 - A_e x)^{n+1}} > 0 \quad (22)$$

故比较(15)和(3)式可得 $K_g > K_a$, 说明在静平衡位置和压缩行程抗侧倾悬架的动刚度也较一般的小。

在悬架的伸张行程($x < 0$), (22)式不能恒成立, 故比较(15)和(3)式可知在伸张行程较小区段($|x| < |x_c|$), $K_g < K_a$, 在伸张行程较大区段($|x| > |x_c|$), $K_g < K_a$, 其中 x_c 与气体多变指数 n 取值和悬架结构参数大小有关。

两种悬架在 $\varphi = 0$ 时的铅垂线刚度特性比较详如图3所示, 在 $\varphi \neq 0$ 时亦可得类似关系, 可见, 一般而言抗侧倾油气悬架可实现较低的且呈非线性的刚度特性。

2.4 侧倾角刚度特性的对比分析

类似地, 油气悬架的侧倾角刚度特性是以 x 为参量的一族曲线, 取 $x = 0$ 得到最典型的一根侧倾角刚度特性曲线, 一般用作设计和评价的依据, 对抗侧倾悬架其表达式为(16)式, 对普通悬架为(4)式。为便于比较将(16)式变化为:

$$C_{\alpha} = \frac{1}{4} n B^2 P_0 V_0^n \left[\frac{A_c^2}{\left(V_0^2 - \frac{1}{4} B^2 A_c^2 q^2 \right)^{n+1}} \left[\left(V_0 + \frac{B}{2} A_c q \right)^{n+1} + \left(V_0 - \frac{B}{2} A_c q \right)^{n+1} \right] \right. \\ \left. - \frac{A_e^2}{\left(V_0^2 - \frac{1}{4} B^2 A_e^2 q^2 \right)^{n+1}} \left[\left(V_0 + \frac{B}{2} A_e q \right)^{n+1} + \left(V_0 - \frac{B}{2} A_e q \right)^{n+1} \right] \right]$$

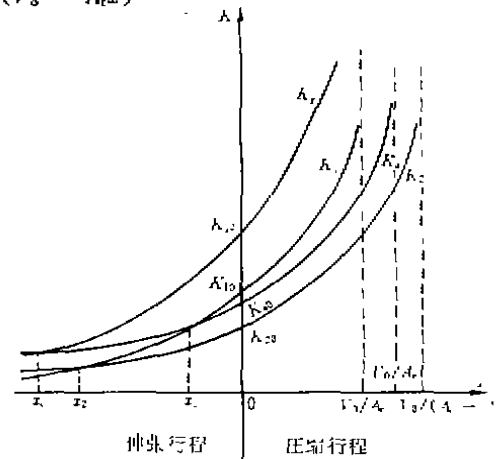


图3 抗侧倾油气悬架与普通油气悬架铅垂线刚度比较($\varphi = 0$)

$$\text{注: } x_1 = V_0 \left[A_c^{-\frac{2}{n+1}} - A_e^{-\frac{2}{n+1}} \right] / \left[A_c^{-\frac{2}{n+1}} - A_e^{-\frac{2}{n+1}} \right]$$

$$x_2 = V_0 \left[A_c^{-\frac{2}{n+1}} - A_e^{-\frac{2}{n+1}} \right] / \left[A_c^{-\frac{2}{n+1}} - A_e^{-\frac{2}{n+1}} \right]$$

$$K_{10} = 2n A_c^2 P_0 / V_0 \quad K_{20} = 2n A_e^2 P_0 / V_0$$

$$K_{\infty} = K_{10} + K_{20} \quad K_{\infty} = 2n A_c^2 P_0 / V_0$$

$$+ \frac{2A_c A_o}{\left(V_o^2 - \frac{1}{4}B^2 A_o^2 \varphi^2\right)^{n+1}} \left[\left(V_o + \frac{B}{2} A_o \varphi\right)^{n+1} + \left(V_o - \frac{B}{2} A_o \varphi\right)^{n+1} \right] \quad (23)$$

注意到(19)式的关系,显然有:

$$\frac{A_o^2}{\left(V_o^2 - \frac{1}{4}B^2 A_o^2 \varphi^2\right)^{n+1}} > \frac{A_c^2}{\left(V_o^2 - \frac{1}{4}B^2 A_c^2 \varphi^2\right)^{n+1}} \quad (24)$$

$$\frac{A_c^2}{\left(V_o^2 - \frac{1}{4}B^2 A_c^2 \varphi^2\right)^{n+1}} > \frac{A_c^2}{\left(V_o^2 - \frac{1}{4}B^2 A_c^2 \varphi^2\right)^{n+1}} \quad (25)$$

$$\frac{2A_c A_o}{\left(V_o^2 - \frac{1}{4}B^2 A_o^2 \varphi^2\right)^{n+1}} > 0 \quad (26)$$

又设有函数:

$$f(x) = (a+x)^{n+1} + (a-x)^{n+1} \quad (a>0) \quad (27)$$

其导函数为:

$$f'(x) = (n+1)[(a+x)^n - (a-x)^n] \quad (28)$$

显然,当 $x>0$ 时, $f'(x)>0$,即 $f(x)$ 递增;当 $x<0$ 时, $f'(x)<0$,即 $f(x)$ 递减;当 $x=0$ 时, $f'(x)=0$,即 $f(x)$ 取极小值为: $f(0)=2a^{n+1}>0$,且满足 $f(-x)=f(x)$,即 $f(x)$ 为偶函数,故设有任意两点 x_1, x_2 满足

$$|x_1| > |x_2| \quad (29)$$

即有:

$$f(x_1) > f(x_2) > f(0) > 0 \quad (30)$$

令 $a=V_o, x_1=\frac{B}{2}A_o\varphi, x_2=\frac{B}{2}A_c\varphi, x_3=\frac{B}{2}A_c\varphi$,显然满足: $|x_1|>|x_2|>|x_3|$,故利用(27)式定义的函数 $f(x)$ 的性质可得:

$$\begin{aligned} & (V_o + \frac{B}{2}A_o\varphi)^{n+1} + (V_o - \frac{B}{2}A_o\varphi)^{n+1} \\ & > (V_o + \frac{B}{2}A_c\varphi)^{n+1} + (V_o - \frac{B}{2}A_c\varphi)^{n+1} \\ & > (V_o + \frac{B}{2}A_c\varphi)^{n+1} + (V_o - \frac{B}{2}A_c\varphi)^{n+1} > 0 \end{aligned} \quad (31)$$

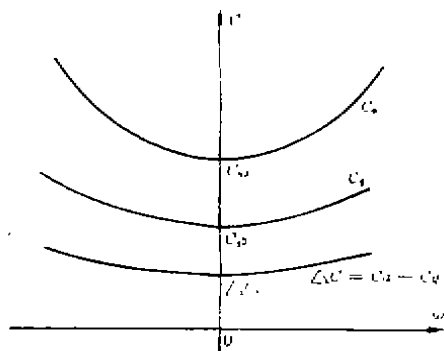


图4 抗侧倾油气悬架与普通气悬架侧倾角刚度比较($\alpha=0$)

注: $C_{o0} = \frac{1}{2}nB^2A_o^2P_o/V_o$, $C_{g0} = \frac{1}{2}nB^2(A_c^2 + A_o^2)P_o/V_o$, $\Delta C_o = nB^2A_oA_cP_o/V_o$.

比较(23)式和(4)式,并利用(24)~(26)和(31)式的关系可知恒有 $C_a > C_g$,说明抗侧倾悬架的侧倾角静刚度、动刚度总是大于普通悬架的。

在图4中给出了两种悬架的侧倾角刚度曲线,可见抗侧倾悬架的侧倾角刚度比一般悬架的大得多,对 $z \neq 0$ 时的其它侧倾角刚度曲线讨论亦可得类似结论。

3 计标步骤与方法

在确定悬架结构型式之后,悬架设计的一个重要任务就是根据整车优化匹配的各桥悬架名义刚度和阻尼来设计主要结构尺寸参数,进一步根据具体车型的空间运动限制、强度要求等就可完全设计确定各桥悬架的所有零部件结构。本文主要讨论如何由悬架名义刚度设计有关的结构尺寸。关于悬架的阻尼分析和由阻尼要求设计节流孔结构部分将由另文报告。

在悬架的整车优化匹配过程中,一般假设小振幅和悬架为线性刚度,因此优化结果给出的仅是各桥悬架弹簧的一个名义刚度值,可以看成实际悬架弹簧的非线性刚度曲线在静平衡位置的取值。由于抗侧倾悬架中两侧油气弹簧油路的特殊联通方式,不能把悬架简单地看成两个带反压气室油气弹簧的关联,而应按照等效油气弹簧来处理。

式(15)说明分析铅垂线刚度时抗侧倾悬架可看成两个上下腔共用一个气室的油气弹簧并联,因此计算等效弹簧在静平衡位置($z = 0$)时的刚度可用下式:

$$K_0 = nA_i^2 \frac{P_0}{V_0} \quad (32)$$

在静平衡位置时的固有频率为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_0}{G/g}} \quad (\text{Hz}) \quad (33)$$

式中 G 为1/2轴荷, G/g 相当于单个等效弹簧上的簧上质量。 G 可表示为:

$$G = (P_0 - 1)A_i \quad (34)$$

$$\text{故:} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P_0}{P_0 - 1} \cdot \frac{gnA_i}{V_0}} \quad (\text{Hz}) \quad (35)$$

固有频率 f_0 反映了悬架隔振的频域特征,行驶平顺性要求 f_0 避开人体对振动的敏感频率范围,一般应使 f_0 在1~1.6 Hz范围内。

而悬架在静平衡位置时的侧倾角刚度由(16)式令 $\varphi = 0$ 可得:

$$C_0 = \frac{1}{2} nB^2 \frac{P_0}{V_0} (2A_i - A_r)^2 \quad (36)$$

由(32)~(36)式可见,在图1所示的抗侧倾油气悬架中,活塞杆的有效横截面积 A_i 和静平衡位置时的蓄能器状态 P_0 、 V_0 确定了悬架铅垂线刚度和固有频率,活塞的有效面积 A_r 和油气弹簧工作缸安装跨距 B 只影响悬架侧倾角刚度。

一般取工作油缸、活塞及活塞杆为圆形横截面,根据(32)~(36)式不难提出如下设计步骤:

1) 按满载时的弹簧负荷 G_i 和最大许用气压 $[P]$ 确定活塞杆直径 D_i :

$$D_i \geq \sqrt{\frac{4G_i}{\pi[P]}} \quad (37)$$

[P]一般可取 $5 \sim 7 \text{ N/mm}^2$ 。

2) 按静平衡位置时的固有频率 f 。近似确定此时的蓄能器气体体积 V_0 ：

$$V_0 \approx \frac{g n D_i^2}{16 \pi f^2} \quad (38)$$

3) 由静平衡位置时的悬架刚度 K 。确定此时的蓄能器气体压力 P_0 ：

$$P_0 = \frac{16 K_0 V_0}{\pi^2 n D_i^4} \quad (39)$$

4) 按照(35)式验算固有频率,与 f_0 相差较大不合要求时,将 P_0 、 f_0 、 D_i 代入(35)式重新确定 V_0 ,然后返回第(3)步。当验算固有频率与 f_0 接近符合要求时,继续下一步。

5) 根据总布置限制,按尽可能大的方式确定悬架的两工作油缸安装跨距 B ,这是因为从(36)式可见 B 越大侧倾角刚度 C_0 越大,选择尽可能大一点的 B 值,可使油缸的横截面尺寸 A_0 减小。

6) 由静平衡位置时的侧倾角刚度 C_0 确定活塞直径 D_0 ：

$$D_0 = \left[\frac{1}{2} D_i^2 + \frac{2}{\pi B} \sqrt{\frac{2 C_0 V_0}{n P_0}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (40)$$

7) 至此就已设计确定了悬架的刚度特性(可由(13)~(16)式来计算),进一步根据总布置的空间运动限制可确定悬架的最大压缩行程及伸张行程,从而确定悬架的静行程和最大动行程,于是可设计确定油缸的纵向尺寸和蓄能器的气体预冲压力和体积,在此过程中只需注意处理的对象仍是上下腔共用同一气室的等效弹簧,其它与设计普通悬架时无异,此不赘述。

按照上述步骤就可有效地设计确定抗侧倾油气悬架中与刚度特性有关的结构尺寸参数。

4 结束语

由以上讨论可见,图1所示的抗侧倾油气悬架既具有很低的铅垂线刚度又具有很高的侧倾角刚度,即可以在行驶平顺性和稳定性两方面同时满足设计要求,而结构比一般油气悬架更简化,且无需附加额外的横向稳定装置。在刚度特性曲线上也容易实现较理想的非线性特性。因此,可以判断这种抗侧倾油气悬架是一种值得推荐的性能优良的悬架。

德国的125吨越野轮式汽车起重机 LTM125即采用了图1所示的抗侧倾油气悬架结构方案,我们采用本文提出的设计方法对其进行设计计算,所得各结构尺寸参数与该车一致,说明所提出的设计方法是正确可行的。

参 考 文 献

- 1 A. E. Moulton, A. Best. Hydrogas Suspension. SAE Trans, 1979, 360~374
- 2 舒红宇,古永棋. 油气悬架的研究和应用. 见马惜坤,四川省汽车工程学会第一届第二次年会论文集,重庆:四川省汽车工程学会,1991,99~103
- 3 吉林工业大学汽车教研室. 汽车设计. 北京:机械工业出版社,1982,268~287