



汽车悬架系统概述

1.1 悬架的基本功能及设计要求

悬架是现代汽车上的一个重要总成,它把车架(或车身)与车轴(或车轮)弹性地连接起来。其主要任务是在车轮和车架(或车身)之间传递所有的力和力矩,缓和由路面不平传给车架(或车身)的冲击载荷,衰减由此引起的承载系统的振动,隔离来自地面、轮胎输入的噪声,控制车轮的运动规律,以保证汽车具有需要的乘坐舒适性(平顺性)和操纵稳定性。图 1-1 和图 1-2 分别示出一种轿车和一种货车的前悬架。

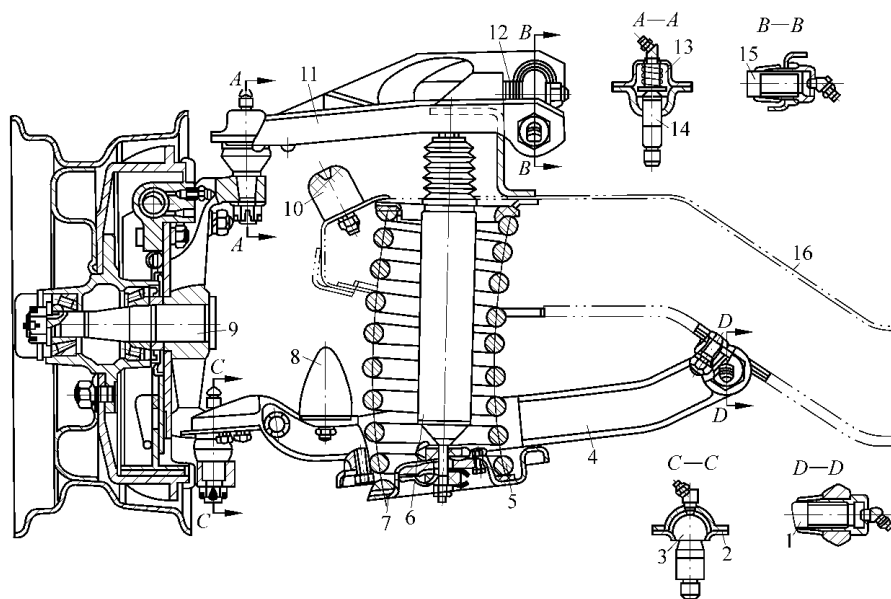


图 1-1 红旗 CA7560 轿车的双横臂式独立悬架(前悬架)

1—下横臂轴; 2—垫片; 3—下球头销; 4—下横臂; 5—螺旋弹簧; 6—筒式减振器; 7—橡胶垫圈;
8—下缓冲块; 9—转向节; 10—上缓冲块; 11—上横臂; 12—调整垫片; 13—弹簧; 14—上球头销;
15—上横臂轴; 16—车架横梁

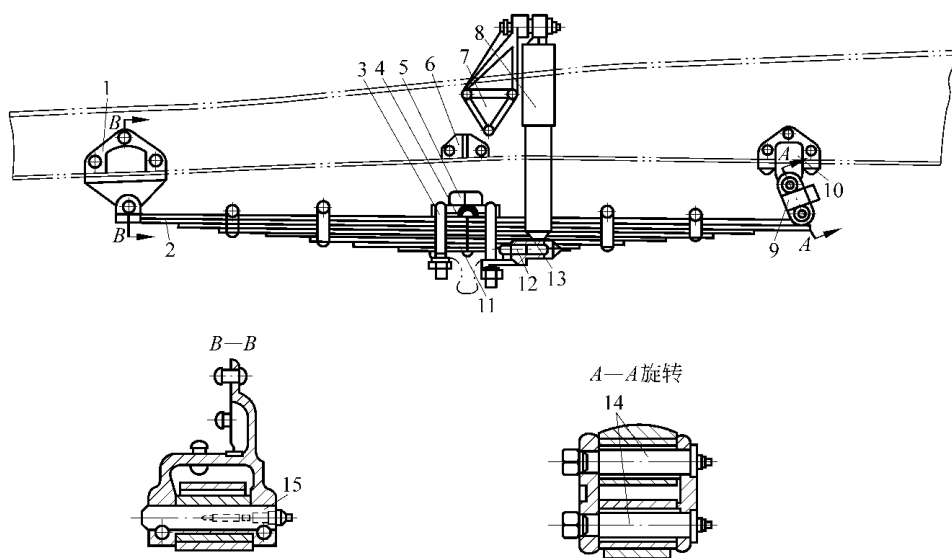


图 1-2 解放 CA1091 货车的前钢板弹簧悬架

1—钢板弹簧前支架；2—前钢板弹簧；3—U 形螺栓；4—前板簧盖板；5—缓冲块；6—限位块；
7—减振器上支架；8—减振器；9—吊耳；10—吊耳支架；11—中心螺栓；12—减振器下支架；
13—减振器连接销；14—板簧吊耳销；15—钢板弹簧销

汽车悬架设计应该满足如下要求。

(1) 保证汽车具有良好的行驶平顺性(乘坐舒适性)。使悬架具有合适的刚度,以保证汽车具有合适的偏频;具有合适的减振性能(有合适的阻尼特性),能与悬架的弹性特性相匹配,减小车身和车轮在共振区的振幅,快速地衰减振动;悬下质量小。

(2) 保证汽车具有良好的操纵稳定性。使汽车具有一定的不足转向特性;转向时,具有合适的车身侧倾角。在车轮跳动时,使车轮的定位参数具有合适的变化规律。在前轴,这个任务一般需要悬架和转向杆系来共同完成,如图 1-3 所示。

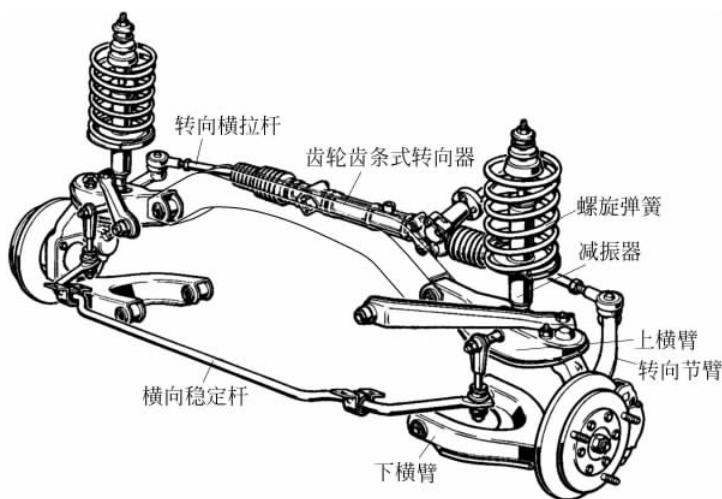


图 1-3 一种雷诺轿车的双横臂式独立悬架和齿轮齿条式转向器

- (3) 汽车制动和加速时应保证车身具有较小的俯仰角位移。
- (4) 保证具有尽可能小的内摩擦,具有良好的隔离来自地面、轮胎输入噪声的性能。
- (5) 保证车轮具有适当的姿态及其变化特性,减小轮胎磨损。
- (6) 结构紧凑,占据空间小。
- (7) 能够可靠地传递车架(车身)与车轮之间的所有力和力矩。零部件质量轻,并且具有足够的强度、刚度和寿命。
- (8) 制造、维护成本低。

如图 1-1~图 1-3 所示,悬架主要由弹性元件、导向机构(钢板弹簧或控制臂、控制杆等)、减振器、缓冲块(限位块)和横向稳定杆组成。

为了进一步提高汽车的行驶性能,更好地控制汽车车身的姿态,减小侧倾和纵倾,研制了主动悬架、半主动悬架。但是,由于成本、对燃油经济性的不利影响等原因,它们尚未有得到广泛应用。

1.2 汽车悬架系统设计的一般步骤

悬架设计主要是为了满足汽车行驶平顺性和操纵稳定性的要求。汽车悬架设计的一般步骤如下。

(1) 确定涉及汽车平顺性和操纵稳定性的性能参数,包括:偏频(乘坐频率,单位是 Hz);相对阻尼系数;侧倾度(侧倾角与侧向加速度的比值,单位是 $(^\circ)/g$ 或 $(^\circ)/(m/s^2)$);转向时内、外侧车轮上的载荷转移;不足转向度(前、后桥侧偏角之差与侧向加速度的比值,单位是 $(^\circ)/g$ 或 $(^\circ)/(m/s^2)$);抗制动点头率/加速仰头率等。需要从汽车总体设计得到如下设计输入:轴距、轮距、前桥载荷和后桥载荷;悬上质量和悬下质量;质心高度等。

(2) 根据上述参数对悬架系统进行设计,确定如下设计参数:弹簧刚度、减振器的阻尼系数、侧倾中心高度、车轮定位参数、轮胎侧偏刚度等。

(3) 计算悬架静挠度,检验偏频是否满足要求。

(4) 计算悬架的侧倾角刚度、稳态转向的侧倾角和侧倾度、稳态转向时在左、右车轮上的载荷转移。

(5) 计算要求横向稳定杆提供的侧倾角刚度。

(6) 计算汽车稳态转向的不足转向度,包括计算如下参数:侧倾(引起的)外倾系数、侧倾(引起的)转向系数、侧向力和回正力矩(引起的)转向系数、侧向力和回正力矩(引起的)外倾系数、不足转向度。

(7) 对悬架的弹性元件、减振器进行设计和强度、刚度校核。

(8) 对悬架导向机构进行受力分析,对其零件进行强度、刚度校核。

(9) 对横向稳定杆进行设计和强度、刚度校核。

(10) 制造样机,并且对其进行试验。根据试验结果,对悬架设计参数进行最后的调整。

1.3 非独立悬架

汽车的悬架可以分成两大类：非独立悬架和独立悬架。非独立悬架的特点是，同一个车桥上的左、右车轮安装在同一根整体车轴上，该刚性车轴通过悬架(导向机构和弹性元件)与车架(或车身)相连，如图 1-4 所示。图 1-4 示出一种采用纵置钢板弹簧的非独立前悬架，其左、右前轮通过转向节和主销安装在一根工字梁整体式前轴上，该前轴通过钢板弹簧安装在车架上。图 1-5 所示为一种采用纵置钢板弹簧的非独立后悬架。在货车以及基于货车底盘的其他商用车上几乎都采用这类悬架。

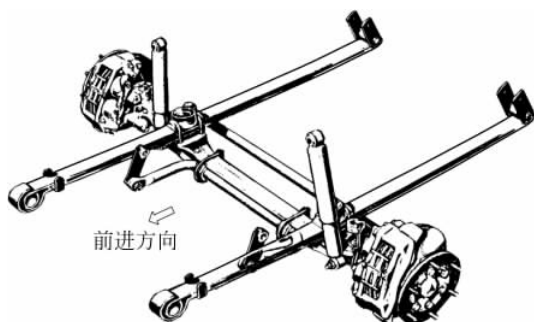


图 1-4 一种采用纵置钢板弹簧的非独立前悬架

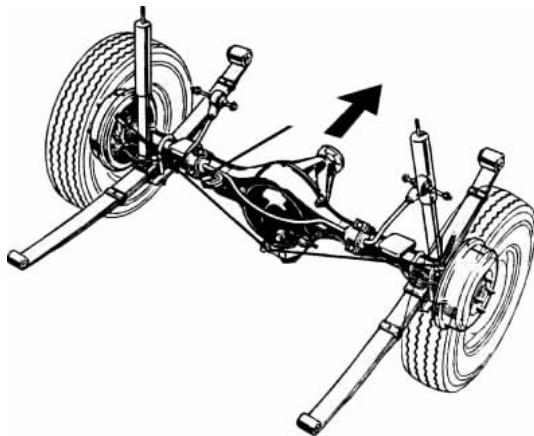


图 1-5 一种采用纵置钢板弹簧的非独立后悬架

图 1-6 示出一种越野车的整体后桥非独立悬架，其两个纵臂 2 的后端焊接在后桥壳上，纵臂的前端通过橡胶衬套 3 安装在车身上。该橡胶衬套允许后桥具有前后方向的弹性，以隔离由滚动的子午线轮胎所引起的振动和噪声，防止其传递到车身。这两个纵臂 2 承受驱动力、制动力及其引起的转矩。侧向力由潘哈德(Panhard)杆 4 承受。弹性元件是螺旋弹簧。

图 1-7 示出一种轿车的整体后桥非独立悬架，与图 1-6 所示的悬架相比，它是从动桥，每个纵臂的后端都通过两个橡胶衬套安装在后桥横梁(圆管截面)上。

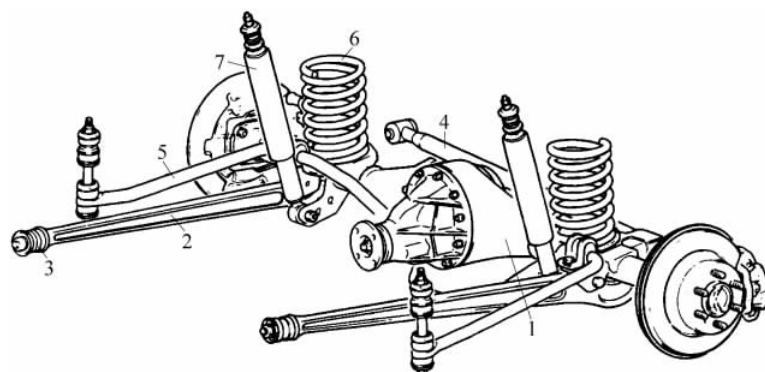


图 1-6 三菱帕杰罗 (Pajero) 越野车的整体后桥非独立悬架 (纵臂和潘哈德杆)

1—驱动桥壳；2—纵臂；3—纵臂橡胶衬套；4—潘哈德杆；5—横向稳定杆；6—螺旋弹簧；7—减振器

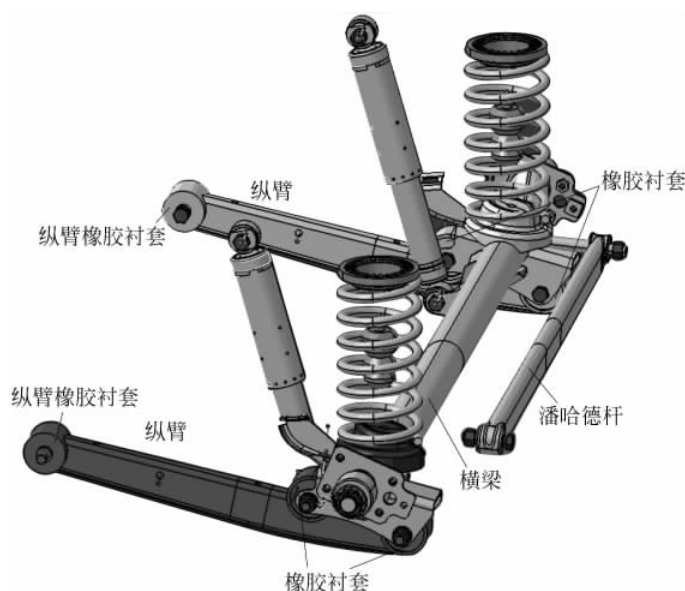


图 1-7 一种轿车的整体后桥悬架 (纵臂和潘哈德杆)

图 1-8 示出一种奥迪 100 的整体式后桥悬架系统,其整体式后桥的截面是倒 U 形的,具有较低的扭转刚度,允许两侧车轮进行比较自由的上、下交错运动。横向稳定杆安装在倒 U 形截面的后桥内,以调节后桥的扭转刚度。两个纵臂 7 的后端焊接在整体后桥上,用零件 5 予以加强。每个纵臂前端都通过橡胶衬套与车身相连,用来允许车轮进行前后移动,以隔离子午线轮胎滚动引起的振动和噪声。这两个纵臂也用来承受制动引起的转矩。潘哈德杆 1 用来承受侧向力,潘哈德杆安装在支座 3 上,而支座 3 固结在车身上。支座 4 也安装在车身上。在支座 3 和支座 4 之间安装了一个横向传力杆 2,把来自潘哈德杆的侧向力的一部分传递到支座 4。潘哈德杆布置在后桥后方,以获得侧向力不足转向的特性。

图 1-9 示出一种称为“欧米加”的整体后桥悬架。该后桥的截面是个倒 U 形,使其扭转刚度较低,以允许两侧车轮进行相对上、下跳动。两个斜置纵臂的后端铰接在后桥上,其前端通过橡胶衬套安装在车身上,以保证一定的纵向刚度,隔离由于子午线轮胎滚动引起

的振动和噪声。两纵臂的倾斜角用来产生有利于不足转向的、由侧向力引起的轴转向。在这种后桥的中间有一个支点,其中装有衬套,其前后方向的刚度很低,上下方向、左右方向的刚度较高,该支点主要承受侧向力和垂直力,该垂直力用来平衡车轮制动力引起的转矩。两个纵臂的前端铰点、后桥的中间铰点大致处于同一个前后位置,构成后桥整体的摆动轴线。由于螺旋弹簧位于车轮之前,其刚度较大,有利于获得较大的侧倾角刚度。

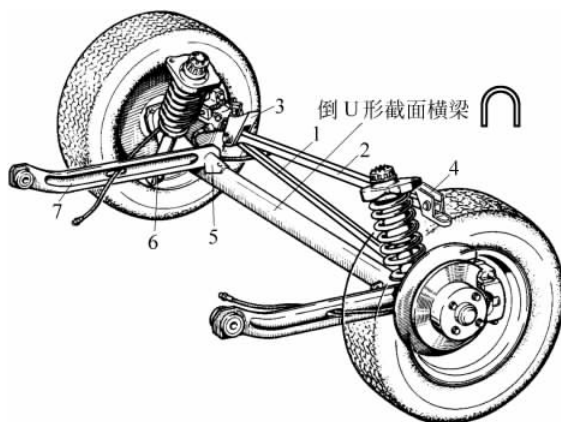


图 1-8 一种奥迪 100 轿车的整体式后桥悬架系统

1—潘哈德杆；2—横向传力杆；3,4—支座；5—加强件；6—弹簧和减振器；7—纵臂

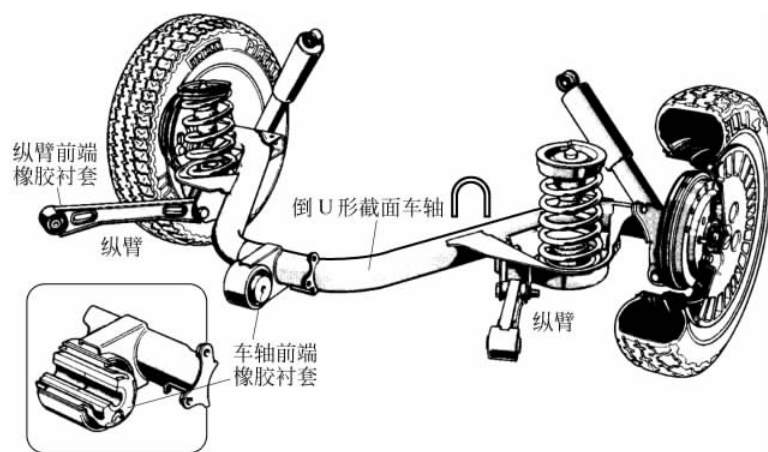


图 1-9 Lancia Y10 轿车和菲亚特熊猫(Fiat Panda)轿车的“欧米加”式整体后桥悬架

如果在整体式后桥中的纵臂是铰接在后桥上的,则需要有构件来限制后桥绕其轴线的转动,这种转动是由制动力或驱动力引起的。图 1-10 示出一种四连杆式整体后桥悬架,其两个下纵臂铰接在后桥上,两个斜置的上推力杆铰接在主减速器壳上。这两个斜置上推力杆用来承受侧向力,下纵臂和上推力杆共同承受纵向力。

图 1-11 示出一种法国雷诺轿车采用的整体式后桥悬架,其两个下纵臂的后端铰接在整体后桥上,用来承受纵向力;两个纵臂的两端分别固结在横向稳定杆上;在后桥中部高处铰接一个 A 形纵向控制臂,用来承受侧向力和纵向力。

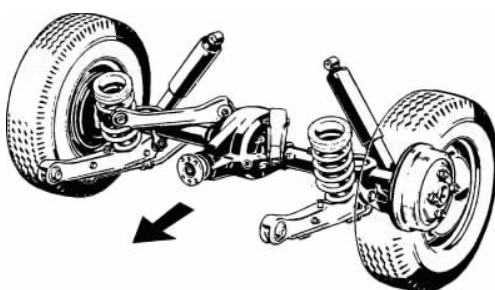


图 1-10 一种四连杆式整体后桥悬架
(福特 Taunus)

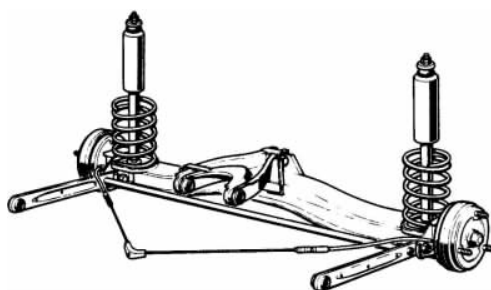


图 1-11 一种法国雷诺轿车采用的整体式后桥悬架——两个下纵臂和一个 A 形上纵臂

图 1-12 示出一种纵臂和 V 形杆式整体车桥悬架,其弹性元件是空气弹簧。下纵臂和后桥上方的 V 形杆用来承受纵向力; V 形杆同时还用来承受侧向力。

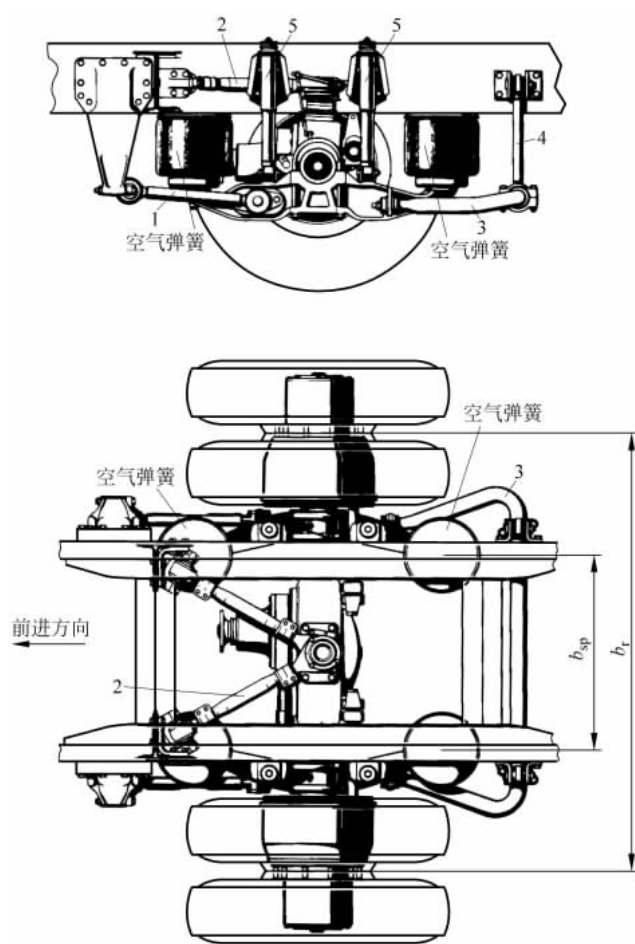


图 1-12 一种采用空气弹簧的货车后悬架

1,2—悬架导向机构的控制杆(2 也称为 V 形杆); 3—横向稳定杆; 4—横向稳定杆在车架上的安装机构; 5—减振器; b_{sp} —弹簧之间的横向距离; b_r —轮距

图 1-13 示出一种五连杆式整体后桥悬架,其两个下纵臂铰接在后桥上,两个上推力杆铰接在其支座上,而该支座也焊接在后桥壳上。潘哈德杆的右端铰接在后桥壳上,左端铰接在车身上。潘哈德杆用来承受侧向力,下纵臂和上推力杆共同承受纵向力。

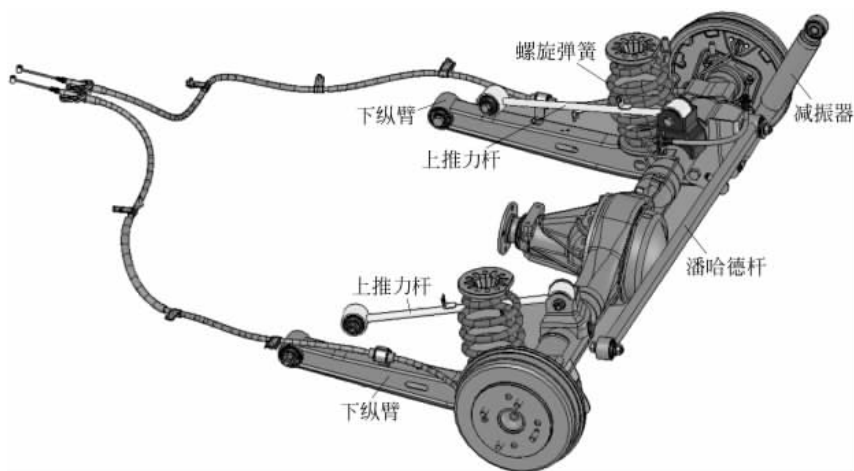


图 1-13 一种五连杆式整体后桥悬架

图 1-14 示出两种整体式后桥的侧向定位装置,即瓦特(Watt)连杆系统和斯科特-鲁赛尔(Scott-Russell)连杆系统。这两种连杆系统都是在 18—19 世纪发明的,当时用在蒸汽机中。这两种连杆系统用在整体式后桥悬架中能够比较准确地控制车身和车桥的侧向运动,其在这方面的特性优于具有潘哈德杆的悬架和四连杆式悬架。

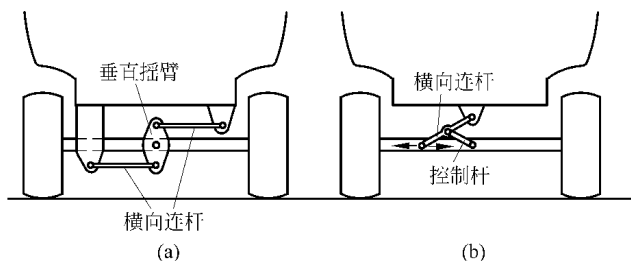


图 1-14 两种整体式后桥的侧向定位装置

(a) 瓦特(Watt)连杆系统; (b) 斯科特-鲁赛尔(Scott-Russell)连杆系统

如图 1-14(a)和图 1-15 所示,瓦特连杆系统由两个相等或近似相等的横向连杆和一个垂直摇臂组成。两个横向连杆的布置高度不同,其外侧铰点都安装在车身结构上,而内侧铰点都安装在垂直摇臂上。垂直摇臂利用圆柱铰安装在后桥的中央。当车桥相对于车身上、下跳动时,右侧连杆(较高的连杆)力图把垂直摇臂的上铰点向外侧(向右)拉,而左侧连杆(较低的连杆)也力图把垂直摇臂的下铰点向外侧(向左)拉,因而垂直摇臂将随着车身上、下跳动而发生不大的转动。在两个横向连杆长度相等时,垂直摇臂的中心只能严格地进行垂直的上、下运动。以这种方式对车桥提供了所需要的相对于车身的侧向运动控制,而驱动力、制动力都由两个纵向杆承受。制动力引起的转矩由传动轴的万向节和传

动轴的轴管承受。

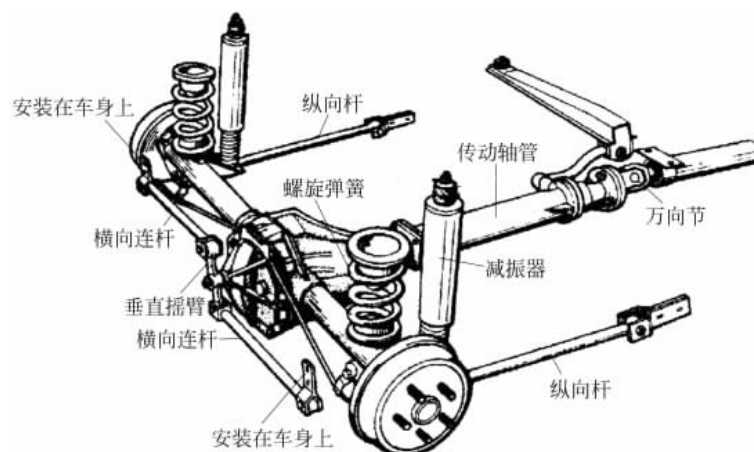


图 1-15 采用瓦特连杆系统控制车身侧向运动的整体式后桥

图 1-14(b)和图 1-16(a)为斯科特-鲁赛尔连杆系统。这种连杆系统连接左、右车轮的是一个整体式扭转梁，其横截面为倒扣的 U 形(见图 1-16)，扭转刚度较低，能允许两侧车轮比较自由地进行上、下交错运动(见图 1-16(b))；其在垂直、水平方向的抗弯曲刚度较

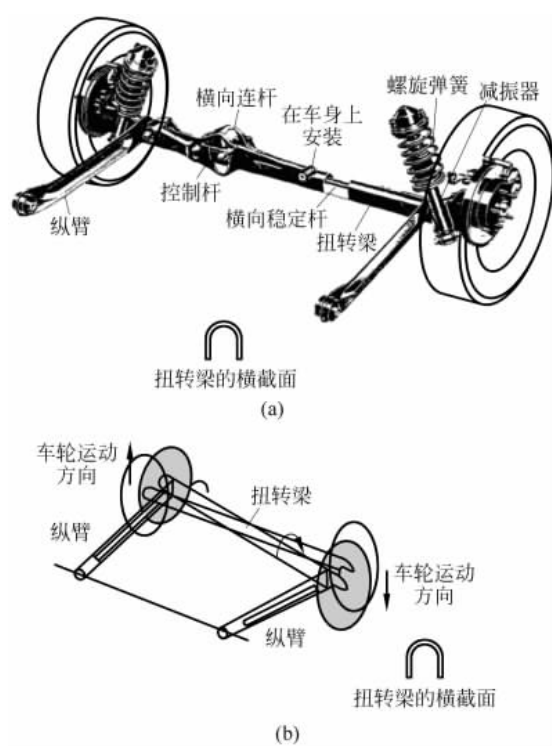


图 1-16 采用斯科特-鲁赛尔连杆系统的整体式后桥
(a) 悬架结构；(b) 两侧车轮上、下交错运动时的扭转工况

大,能减小车轮前束和车轮外倾角的变化。安装在扭转梁中的扭杆可用来调节扭转梁的扭转刚度,其两端分别固结在车桥上。两个钢制的纵臂焊接在扭转梁上,其前端通过橡胶衬套安装在车身上,并且允许车桥发生一定的侧向移动。这两个纵臂承受纵向力、制动力以及制动力引起的转矩。车桥相对于车身的侧向位置由一个横向连杆和一个控制杆来控制。横向连杆的一端大致铰接在车身结构的中央,其另外一端铰接在车桥上靠近一端的位置上,在该铰点允许横向连杆相对于车桥进行有限的横向移动。斯科特-鲁赛尔连杆系统中还包括一个较短的控制杆,其一端铰接在车桥上靠近其中央的位置,另外一端大致铰接在较长的横向连杆的中央,如图 1-14(b)所示。

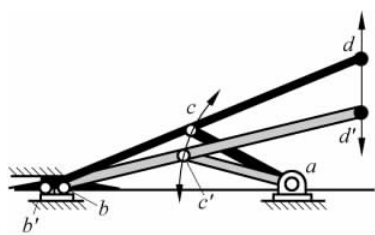


图 1-17 斯科特-鲁赛尔连杆系统控制车桥相对于车身侧向移动的原理图

图 1-17 示出斯科特-鲁赛尔连杆系统控制车桥相对于车身侧向移动的原理图。人们通过研究发现,只要满足如下条件, d 点的运动轨迹基本上就是一条垂直直线,即:① $ac:bc=bc:cd$;②每个铰点都可以转动;③ a 点的移动自由度被约束;④铰点 b 具有侧向移动自由度。其中, bd 是横向连杆; ac 是控制杆; d 是横向连杆在车身上的铰点; b 是横向连杆在车桥上的铰点; a 是控制杆在车桥上的铰点; c 是控制杆在横向连杆上的铰点。因而,在车轮相对于车身进行上、下跳动时,车桥基本上相对于车身进行垂直运动。

图 1-18 示出一种实际应用的横向连杆和控制杆的设计。从图 1-18 中可以看出,横向连杆具有较好的刚度,衬套 K 的垂直刚度与水平刚度之比为 $10:1$,以此来允许横向连杆在该铰点产生相对于车桥的横向位移。

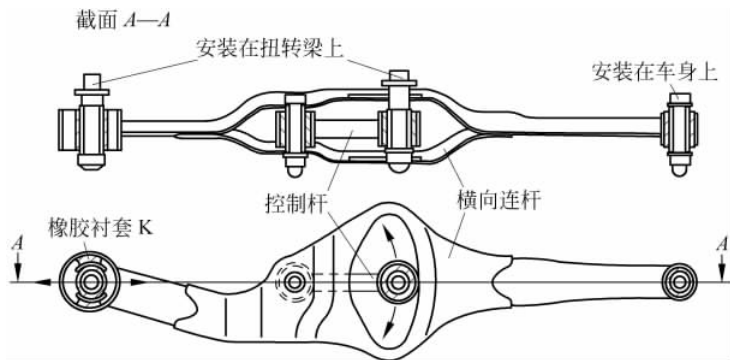


图 1-18 一种实际应用的横向连杆和控制杆的设计

斯科特-鲁赛尔连杆系统在前后方向结构紧凑,有利于整车布置。与平行连杆立柱式悬架(麦克弗森式后悬架,见图 1-45)相比,采用斯科特-鲁赛尔连杆系统能够允许增大轴距,而不影响车身本身的长度或牺牲位于悬架之后用于布置备胎、消声器的空间。除此之外,还可以缩短后悬。

图 1-19 所示悬架中潘哈德杆所表现出的缺点包括:①在车轮相对于车身上、下跳动时,会引起车轴相对于车身的横向移动;②潘哈德杆是个二力杆,汽车转向行驶时,潘哈