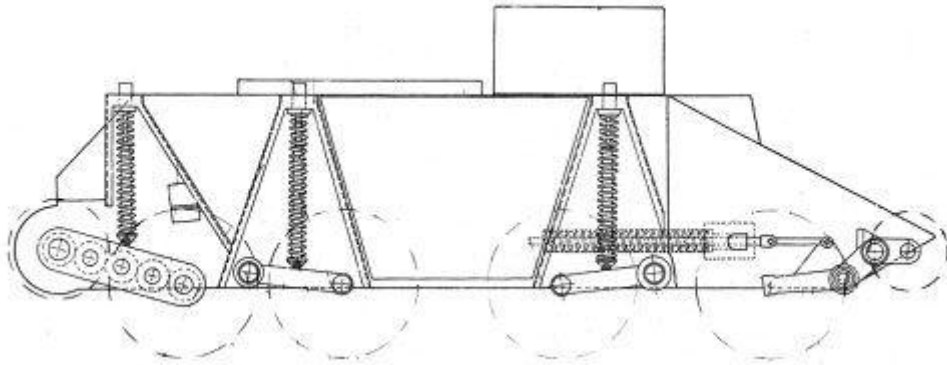


坦克悬挂系统

第一章 克里斯蒂悬挂系统

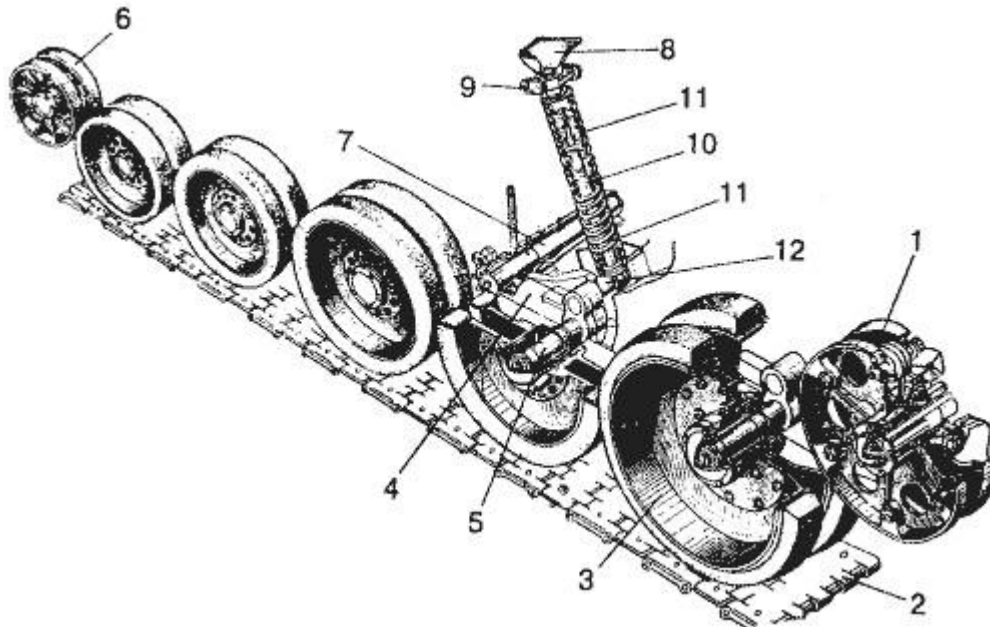
克里斯蒂悬挂是美国人克里斯蒂发明的，克里斯蒂悬挂是一种独立式圆柱螺旋弹簧悬挂系统。

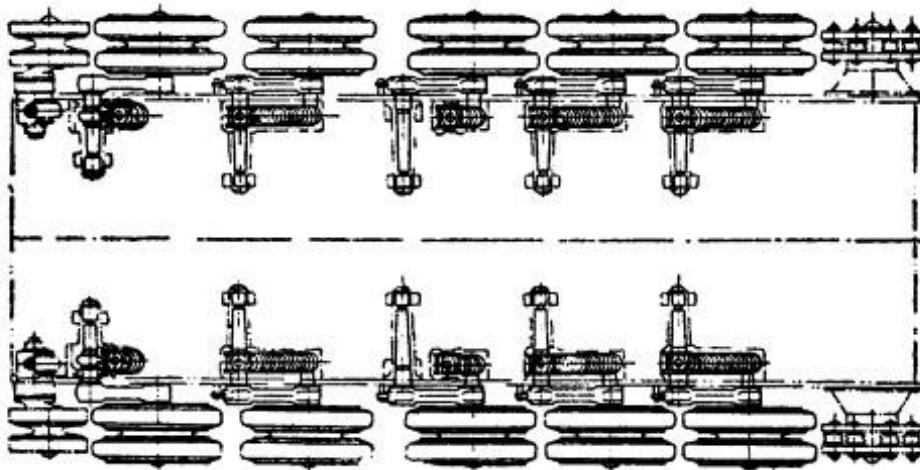
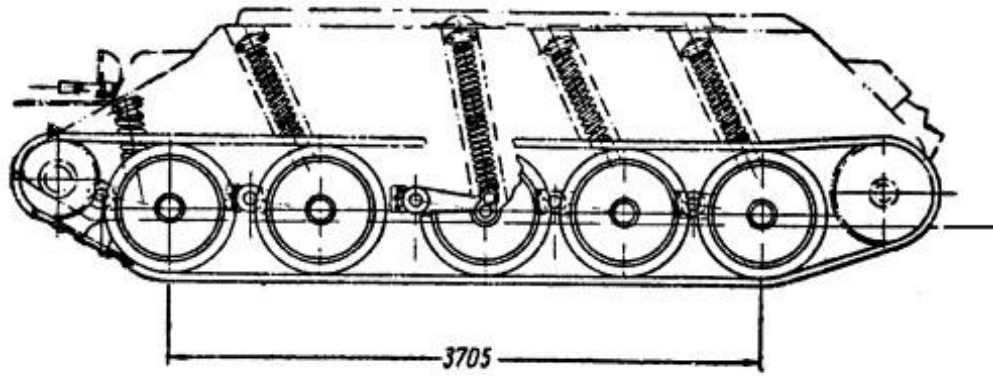


上图就是克里斯蒂悬挂的一个示意图。这个设计同样使用在俄国的 BT 系列快速坦克上。

克里斯蒂悬挂的是早期的一种独立悬挂系统，大家可从上图看到其悬挂的工作原理，就是将路轮的垂直运动转化成弹簧的伸缩，由此产生的弹性形变提供给车体的支撑力。是一种结构很简单，可靠性很好，而且弹性也很好的悬挂系统。因此通过性很好，适用于一些早期的高速坦克上，比如 BT 系列快速坦克，以及著名的 T-34 坦克等等。

BT 系列坦克的悬挂就是上图中的克里斯蒂悬挂，因此构造跟上图都完全一样，所以下面来看看 T34 上的克里斯蒂悬挂。





上面两图就是 T34 上所使用的克里斯蒂悬挂，大家可看到负重轮连接到摆臂上，而摆臂的支撑点连接到竖直的弹簧上。由弹簧提供对车体的支撑力，这就是 T34 坦克的悬挂系统。

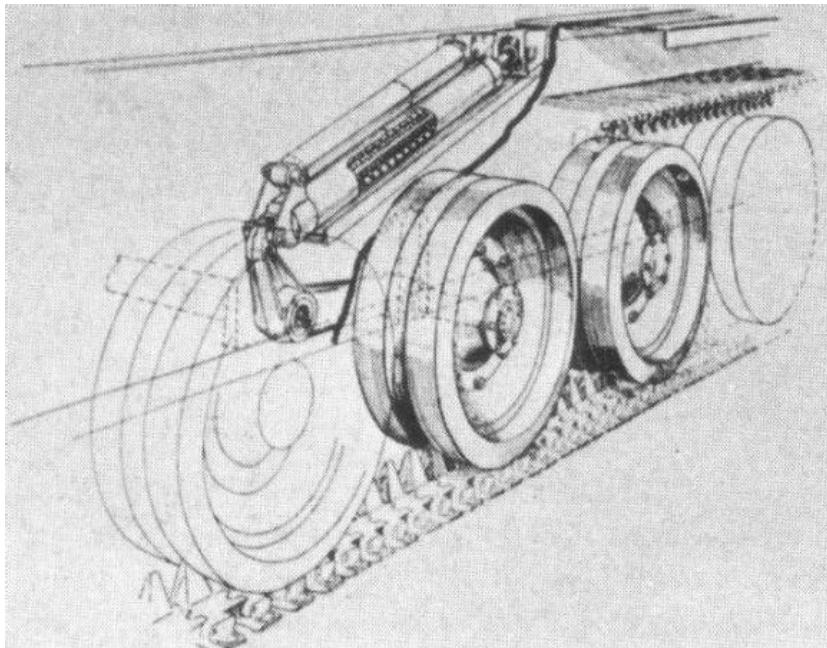
很明显这种克里斯蒂悬挂方式结构很简单，但是有一个突出的缺点，就是占用车体内部空间太大。下面几张图我们可以看到 T34 的克里斯蒂悬挂对车内空间的占用情况。





上图是被摧毁的 T-34，可以看到几个竖起来的方形盒子，就是 T34 的克里斯蒂悬挂中的弹簧槽，这几根突兀的弹簧槽破坏了车内空间的工整度，大量占用车内空间的同时也使得车内的整体布局很凌乱。这图直观地显示出克里斯蒂的弊端。

而在另一边的英国，也在自己的巡洋坦克上使用了这种悬挂系统，包括十字军，克伦威尔，彗星等，都使用了这款非常经典的悬挂，但是跟毛子 T34 和 BT 系列不同，英国对克里斯蒂悬挂进行了一定的改造，下面我们来看看英国的克里斯蒂悬挂是怎么样子的。



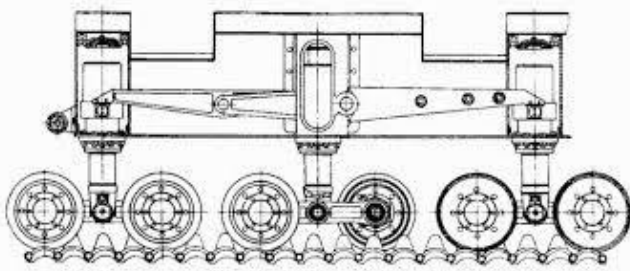


上面两张图是被拆除了侧面保护装甲的克伦威尔车体，我们可以清晰看到克伦威尔上的克里斯蒂悬挂的形状和工作原理。

与 T34 的不同，克伦威尔上的克里斯蒂悬挂，弹性部件采用倾斜布置，而且弹簧使用拉伸形变来支撑车体而非 T34 上使用压缩形变来支撑车体。这种倾斜弹簧的布局降低了悬挂所需的高度（起码不像 T34 那样需要在车内竖几根巨大的弹簧），而且在第一根，第二根和最后一根悬挂上，我们还看到采用了液压减震器（弹簧筒上方那根圆管）这比起毫无减震的 T34 来说，有了一定的进步。

当然，独立式圆柱螺旋弹簧悬挂系统不仅仅使用在这几款车辆上，在非常多的车辆上，我们都看得到他们的身影，只是我们一般都不将他们归类在克里斯蒂悬挂上而已。

比如 T-28 采用的烛式悬挂（这个名称大家也可以在坦克世界里看到，T-28 的配件中有增强型烛式悬挂装置这个选项）



这种悬挂就是使用一根套筒，套筒中安置弹簧，压杆向上压缩套筒中的弹簧引起弹性形变来支撑车体。每组悬挂固定有两个小直径路轮，路轮摆臂中轴安装在悬挂下方。优点是结构比较简单，缺点是车辆行驶中产生的所有侧向力都作用在这根压杆上，容易造成压杆和套筒的磨损。

丘吉尔上使用的独立螺旋弹簧悬挂：



这种悬挂类似于 T34 上的克里斯蒂悬挂的缩小版，同样是以摆臂压缩垂直弹簧以获得支撑车体的弹性力。在每一侧安装数量较多的这种小型悬挂来支撑车体。优点是结构简单，弹性也不错，个别悬挂即使被击毁也不影响全车机动性（看上图就知道了，缺了那么多组悬挂都不会导致车辆趴下），缺点是行程过短，弹簧容易压缩到底而产生刚性的碰撞

梅卡瓦上使用的独立式垂直弹簧悬挂：

梅卡瓦系列都使用这种外置的弹簧悬挂，但梅卡瓦 1 和 2，以及 3 和 4 型的布置有所不同&`3 X

梅卡瓦 1,2 使用的悬挂：

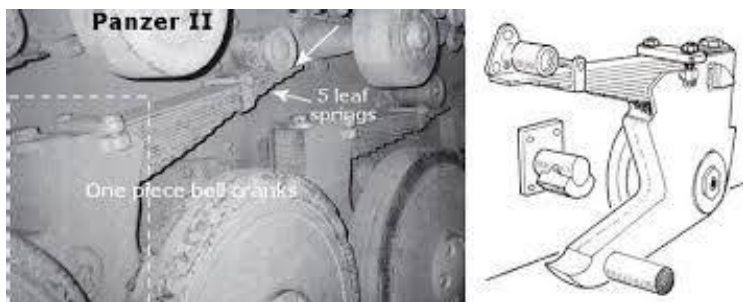


其中梅卡瓦 1 和 2 所使用的悬挂系统虽然两个为一组，但与平衡式悬挂不同，仅仅是共用一组支撑架而已，弹簧都是独立布置的，因此作动原理与平衡式悬挂不同。

梅卡瓦的悬挂结构是非常简单的，因此也容易在战地直接进行修理和更换，相比 T34 的克里斯蒂悬挂，这种悬挂系统全部布置在车外，一来不占用车内空间，二来也可以给车辆带来一定程度的额外防护。但缺点跟所有的垂直弹簧独立悬挂一样，行程比扭杆悬挂要短，不过在中东地区，这种缺点也不明显。

还有一个异类，是 II 号坦克，它的悬挂虽然并非螺旋弹簧，但也是一种独立式的板簧悬挂系统。





此悬挂通过摆臂的支点，利用杠杆原理向板簧施力，板簧一侧固定，另一侧链接到摆臂上，摆臂运动时，带动板簧一侧，将板簧弯曲，板簧产生弹性形变支撑起车体的重量。

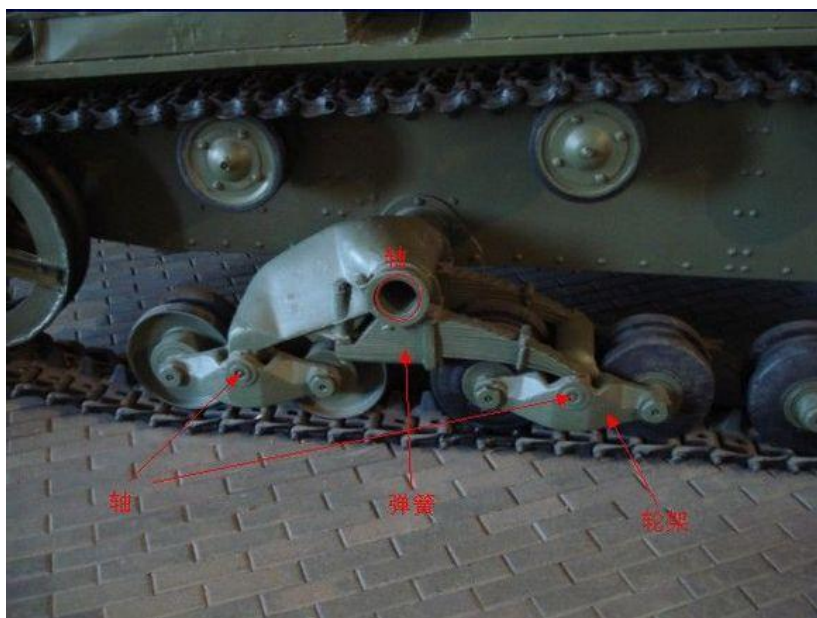
第二章 平衡式悬挂

平衡式悬挂广泛运用于 2~30 年代到二战期间，包括非常著名的维克斯 6 吨（包括 T-26），瓦伦丁，玛蒂尔达以及谢尔曼，IV 号，乃至战后的百夫长以及酋长，都在使用平衡式悬挂。

平衡式悬挂是一种非独立式悬挂，他的原理是多个负重轮使用同一组支撑架以及弹性部件，然后每侧安装一组到多组这样的悬挂组件。

平衡式悬挂以多组轮子和一个共用的支撑架以及弹性部件为特点，根据不同的战车设计，有使用双轮组（谢尔曼），三轮组（瓦伦丁），四轮组（维克斯，玛蒂尔达）等等。

下面我们先看看著名的维克斯悬挂。



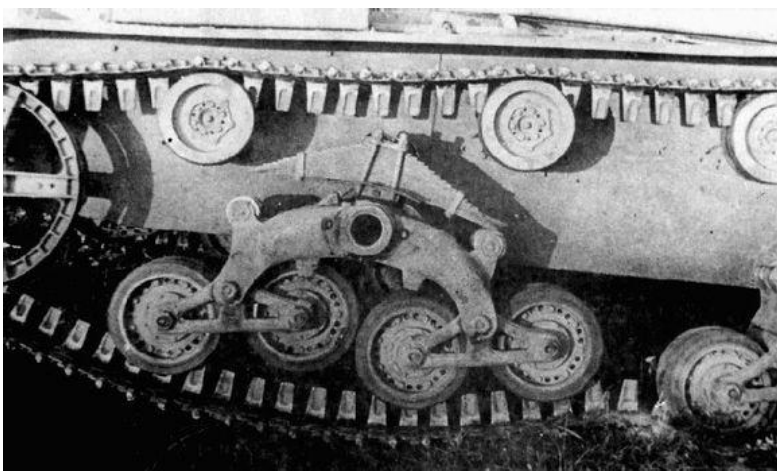
上图中可以看到维克斯悬挂的外形，我们来看看他是怎么工作的，. 首先圆圈中是主轴，整个悬挂组件通过这根主轴连接到车体上。主轴上安装有一个基座，可以绕主轴转动，基座后部安装一组叶片弹簧。

在基座前端，和叶片弹簧后端，分别固定一个转轴，转轴上安装有轮架，每个轮架固定

两个 小直径负重轮，这样就构成了维克斯平衡悬挂。

工作原理是这样的，由于两组小直径的负重轮共用一组弹簧，因此当某一组负重轮遇到障碍物向上抬起时，就以另外一组负重轮为支点压弯叶片弹簧组，产生弹性力，形成对车体的支撑。

下面看看苏联的 T-26M 的悬挂工作情况：



虽然与标准的维克斯悬挂有所不同，但一样都是平衡式悬挂。我们可看到末端轮架其实是自由摆动的，并无弹簧支撑，这可让战车的轮子更好地附着地面，而当轮组中的某一组轮子遭遇障碍物之时，共用的弹簧会给予另外一组轮子更强的弹性力(因为弹簧被加以压缩了)用以支撑车体，因此这就是平衡式悬挂的优点：行驶平稳。

下面我们看看其他使用平衡式悬挂的车辆。

首先看看采用四轮组平衡式悬挂的 35 (t) '

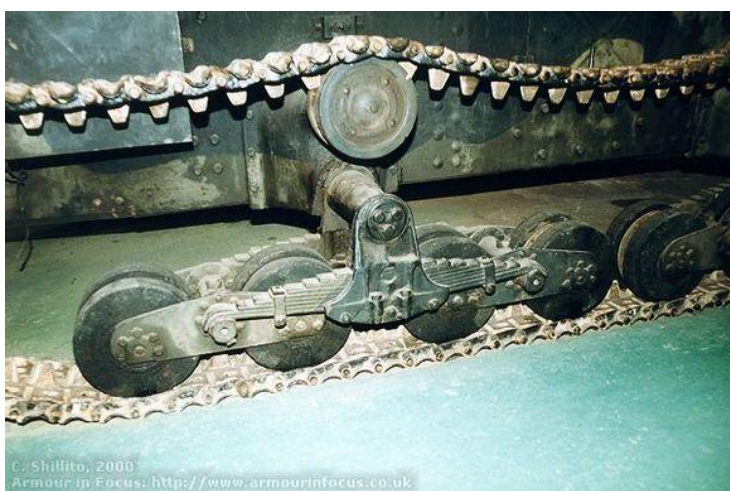


相比维克斯悬挂，35（t）采用的悬挂在外观看起来更为工整，整个组件由中间的主支撑架，双联叶片弹簧组，以及前后摆臂和轮架构成。相信大家可以从上图看清35（t）的悬挂工作原理。

下面看看35（t）的悬挂工作情况,看下图：



接下来是玛蒂尔达，玛蒂尔达有1型和2型。先看看1型

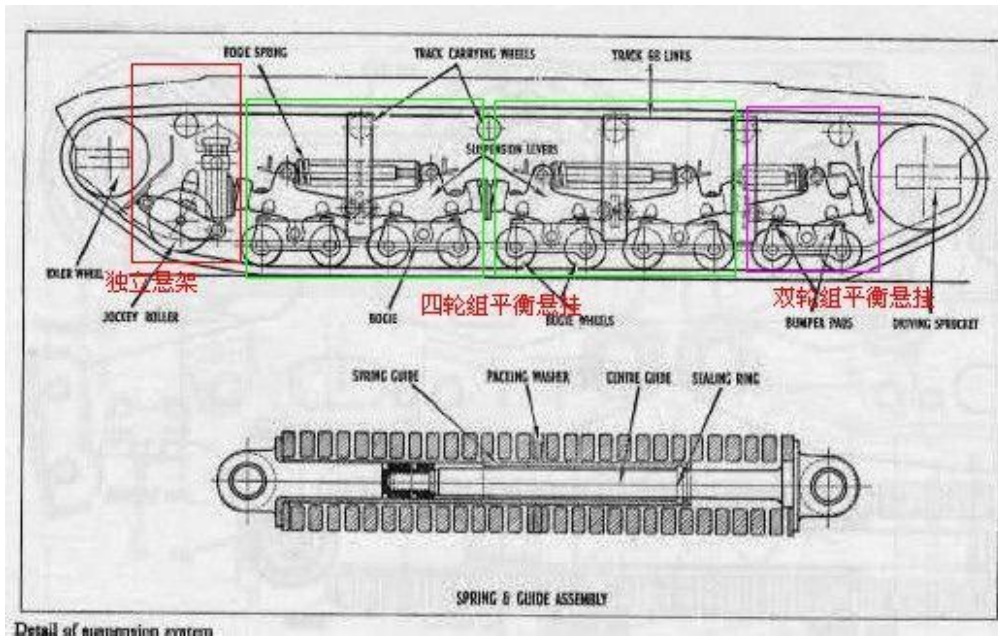


这组悬挂也非常简单，连摆臂都不用，前后两个双轮托架直接通过两组叶片弹簧链接到主支撑架上。

下面看看玛蒂尔达2型，因为玛女王经常以长裙示人，悬挂自然也是被包裹在长裙底下，所以只好找个模型图片。



上图可以看到玛蒂尔达 2 的中央悬挂系统（玛蒂尔达由于负重轮很多，采取最前一对独立悬挂，中间两对 4 轮组平衡悬挂和后面一对双轮组平衡悬挂构成，见下图.....）



玛蒂尔达 2 的悬挂类似于 35(t) 型，只是将主弹簧由叶片弹簧组改成了螺旋弹簧而已。看完了构造看起来很复杂，但原理很简单的 4 轮组平衡悬挂，我们再来看看三轮组的，也就是瓦伦丁这个奇葩

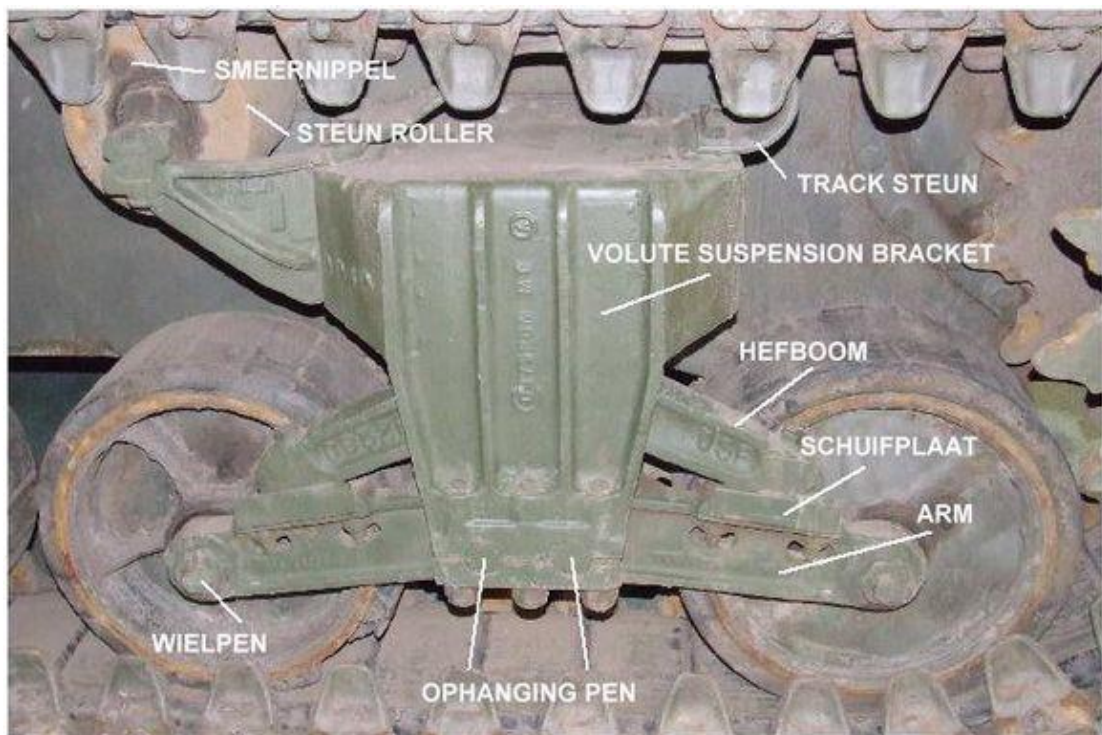


上图是瓦伦丁的悬挂组件示意图，其实原理与上面所说的四轮组是一样的，只是前一个摆臂使用单轮，后一个摆臂安装了一个双轮的自由轮架，安装完成的样子如下图，瓦伦丁每边使用两组这样的悬挂：



下边看看最常见的双轮组平衡悬挂，首先看看经典的谢尔曼。
 谢尔曼有两种构造的平衡悬挂，分别是垂直弹簧平衡悬挂（VVSS）以及水平弹簧平衡悬挂（HVSS）。

先看看 VVSS：

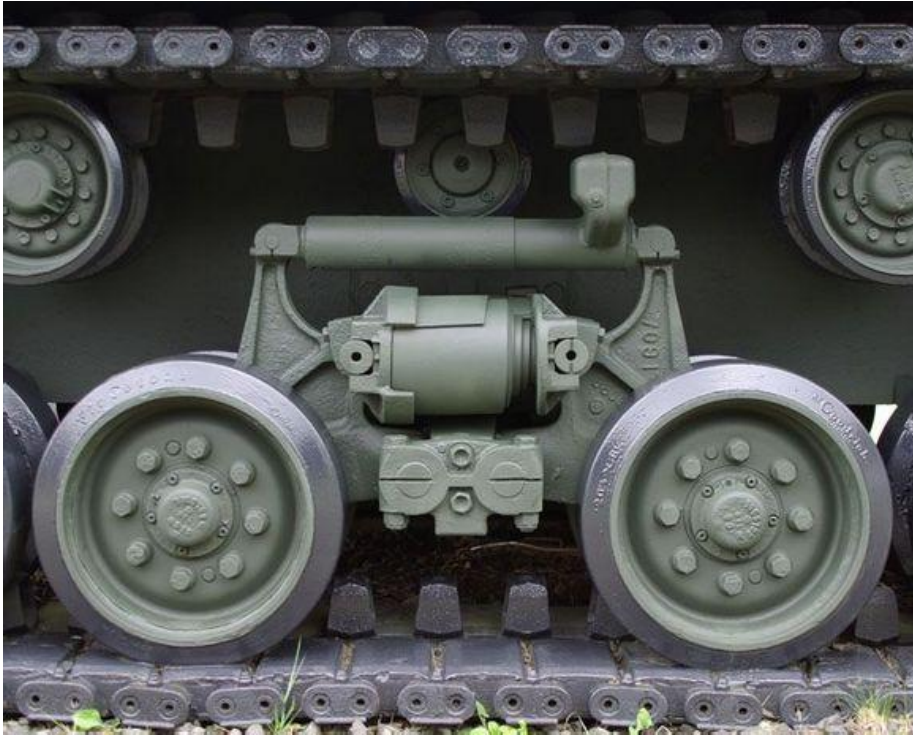


上图就是 VVSS 的外观，可以看到中间的支撑架以及两边的摆臂。上边是拖带轮和履带支撑架。那么他的弹簧在哪里呢？我们再看看下图



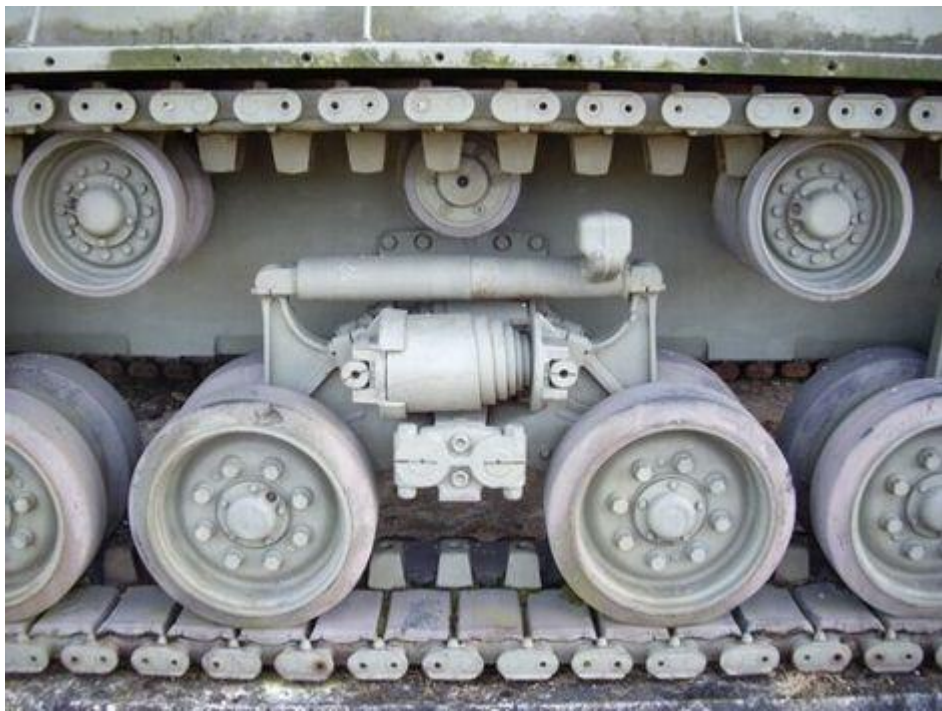
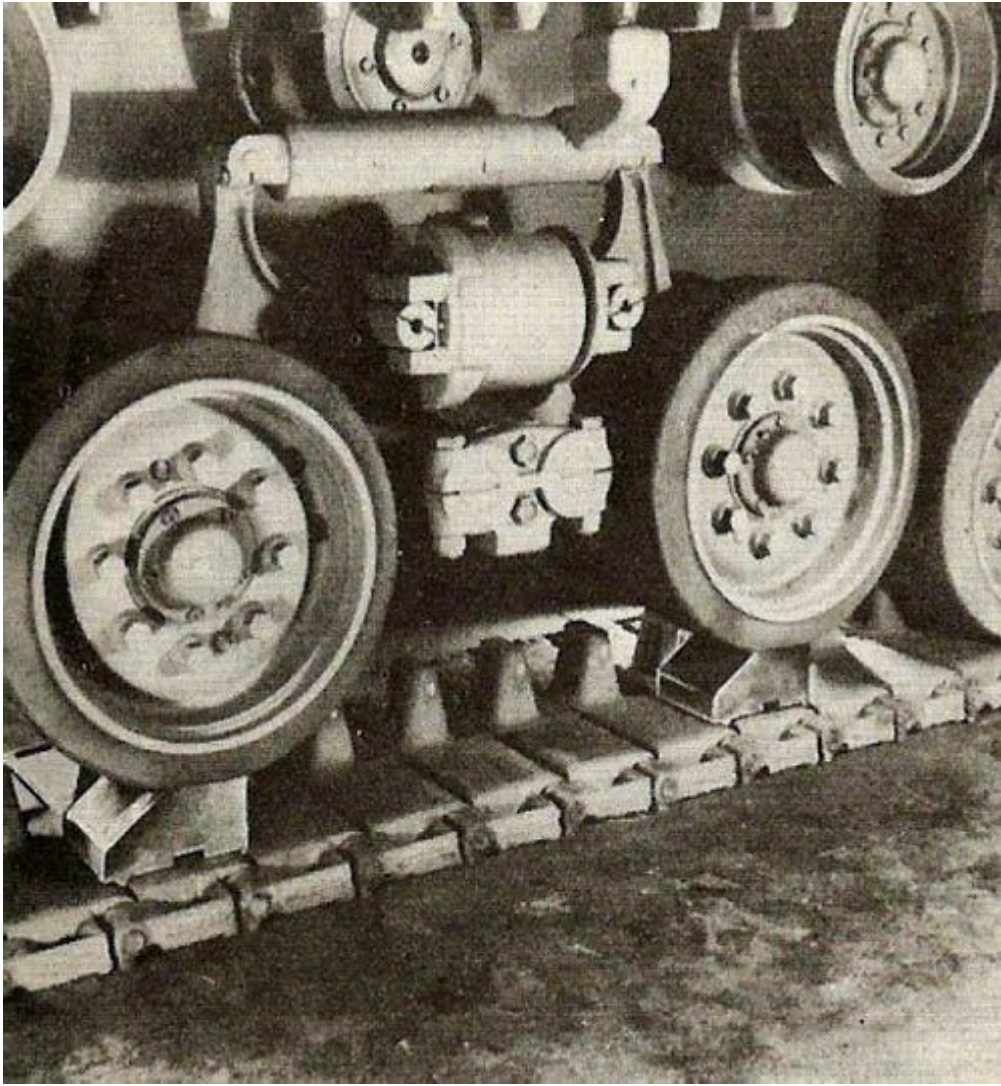
从车体向外看，我们可以看到一个涡卷弹簧，这就是 M4 的弹性部件。每一组 VVSS 组件使用前后两个一组涡卷弹簧。由于弹簧垂直布置，故名垂直弹簧平衡式悬挂 (Vertical Volute Spring Suspension)。

早期的 M4 由于重心过高，履带又过窄，所以经常在机动时翻车，因此在后期，美军采用了水平弹簧平衡式悬挂系统 (Horizontal Volute Spring Suspension)，我们看看图



相比弹簧内藏的VVSS, HVSS可以看到明显的水平布置的涡卷弹簧。而轮架也改到中间, 以适应双缘负重轮的设计。这种布局增加了履带的宽度, 让使用HVSS的M4更稳, 通过性更好。

下面再看看几张图

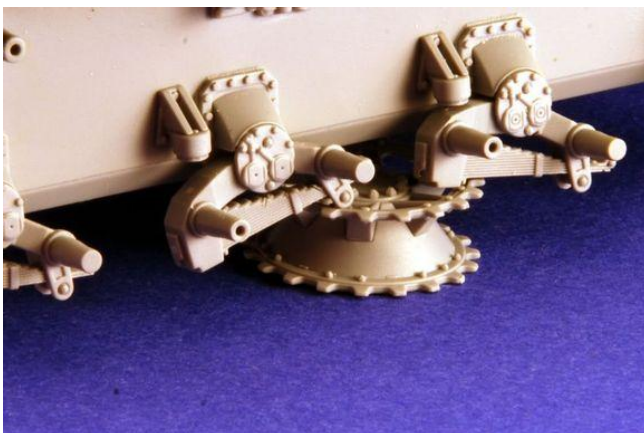


然后我们再看看谢尔曼宿命中的对手 IV 号
先看看实物

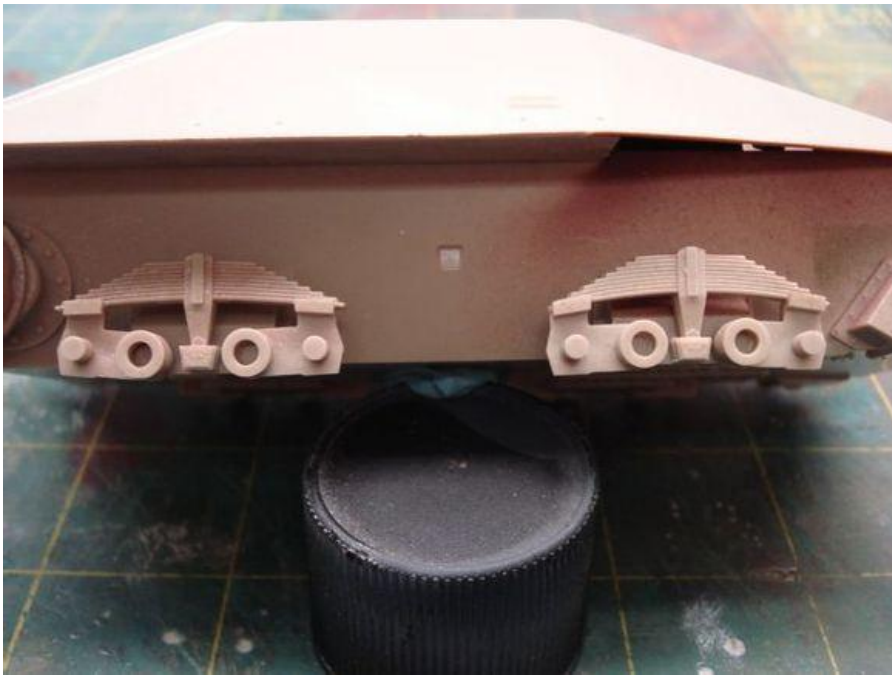


其中上面是一个支撑架,这个支撑架通过螺钉直接固定到车体上,下面是前后两个摆臂,这两个摆臂通过各自的轴固定到支撑架上,下方是一组叶片弹簧,接触地面时两组摆臂向上摆,弯曲下方的叶片弹簧 以产生弹性形变,获得弹性力以支撑车体。IV 号每边使用 4 组这样的悬挂。

下面再看看模型,就可看出 IV 号悬挂的工作原理了。



而德军的另一台著名的战车 38 (t) 也使用了板簧式平衡悬挂。
38 (t) 的悬挂由一组月牙型叶片弹簧，以及两个摆臂组成。



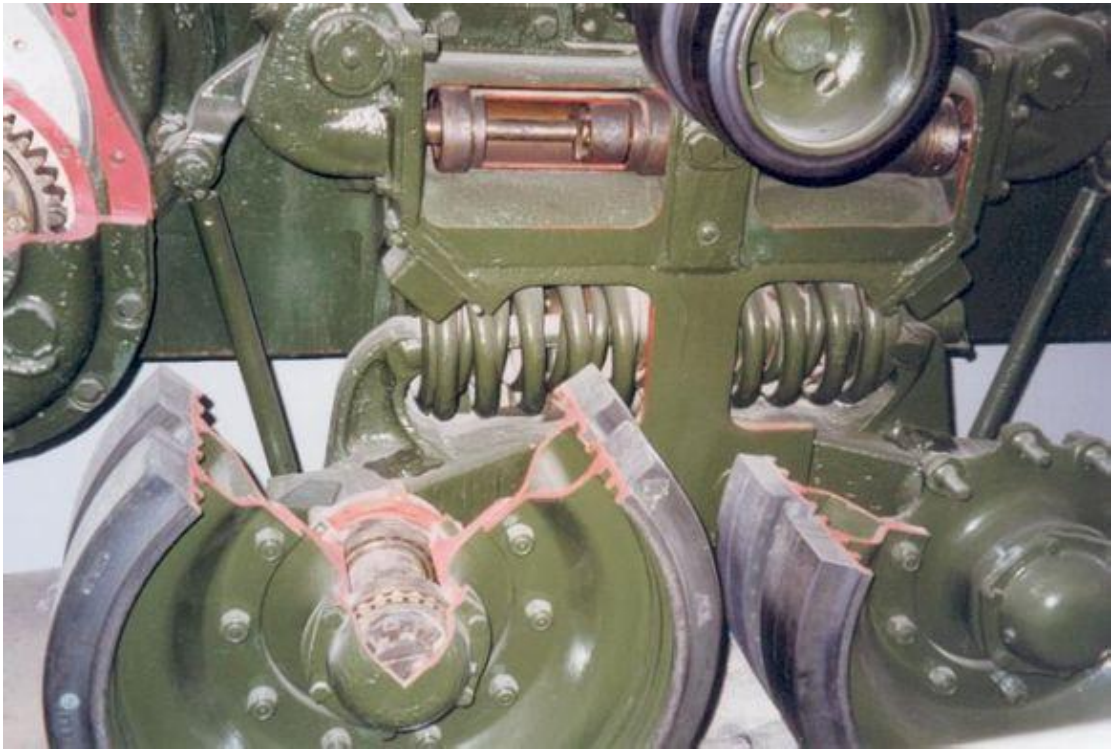


上面三图可以明显看到 38 (t) 采用的悬挂原理 (车辆是追猎者, 但悬挂与 38 (t) 一样)。

再来一幅 38 (t) 本尊的



在二战以后，英国的百夫长，酋长以及征服者坦克都使用了类似 HVSS 的平衡式悬挂，经过上面的说明，相信大家也知道平衡式悬挂的工作原理，所以下面就不细讲了，直接上图，大家可以分析一下。



上图是百夫长的悬挂



上图是征服者的悬挂。

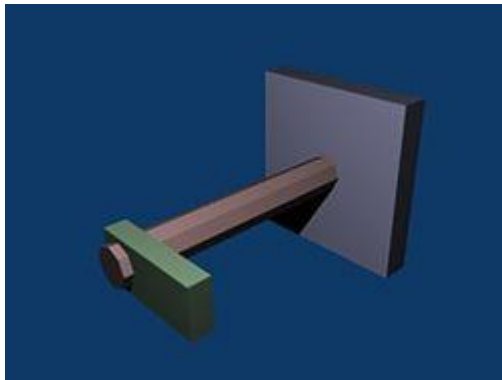
第三章 扭杆式悬挂

扭杆式相信大家都不陌生，因为实在是太多经典坦克使用这款悬挂了，远到二战之前研发的 III 号，二战中大名鼎鼎的虎式，豹式，虎王，斯大锤的 KV 系列，JS 系列，美帝的潘兴，巴顿系列，到战后的常青树 T55，以至于整个 T 系列，到当代最先进的豹 II, M1，解放军的 99 式都在使用扭杆悬挂。就算使用液气主动悬挂的日本 90 式，其中间两对轮子也是使用扭杆悬挂的（前面和后面两对是液气悬挂）。

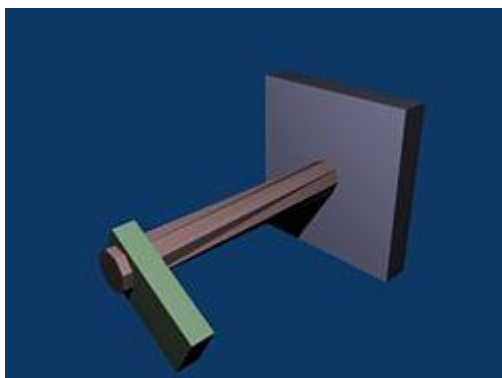
那么扭杆悬挂的原理是什么呢？下面直观地说明一下，拧毛巾相信大家都拧过，用双手将毛巾两头抓住，然后双手反方向扭动，毛巾里的水就会被拧出来。当然这里不是讨论毛巾的干湿问题，而是拧毛巾以后的感觉，你将毛巾拧紧以后，手有没有感觉到毛巾有一股反作用力？这个反作用力就是毛巾被扭转以后产生的弹性力。



而扭杆的原理正与拧毛巾类似，扭杆就是你手中的这一条毛巾。下面我们看看扭杆具体是长啥样的。

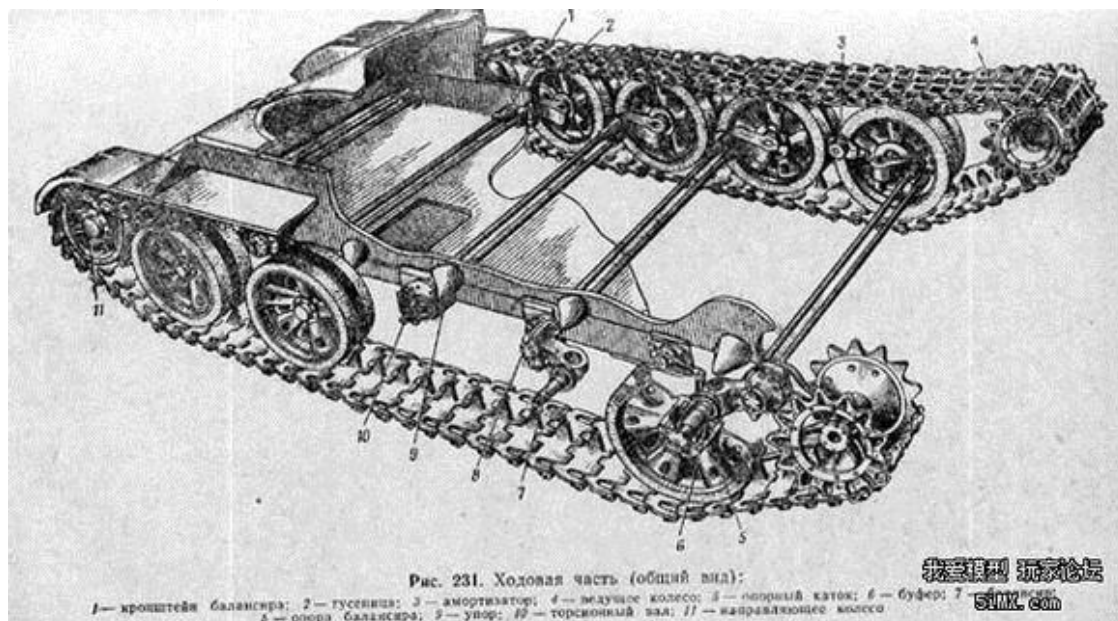


上图就是一个扭杆的模型示意图，其中灰色的是扭杆的固定端，也就是车体，红色的圆柱形就是扭杆，绿色的长方体就是轮子的摆臂，下面看看扭杆工作时的状态



上图，摆臂运动，将扭杆扭转，扭杆产生弹性力，而在安装扭杆的坦克上，此弹性力就是支撑车体的力量。

扭杆悬挂通常布置是这样的（图示为 T55 的扭杆悬挂系统）



扭杆一侧安装在车体侧壁上，另外一侧通过车体的孔洞穿出，连接到摆臂上，轮子上的重量载荷通过摆臂使扭杆产生扭转，获得的弹性力用于支撑车体。这就是扭杆悬挂的原理，非常简单，而且占用空间也非常少（只需要车底部分的空间就可以了。）

扭杆式悬挂的特点就是动行程很大，理论上行程总长是可以接近两倍摆臂的长度的（从摆臂向下无限接近竖直，可以一直扭转摆臂向上无限接近竖直），完全不存在其他悬挂需要考虑弹簧的长度等问题。另外结构不算很复杂，占用车体空间很少（扭杆平铺在车体底部），弹性和可靠性都非常好，因此逐渐被大量战车使用，包括先进三代坦克。

但扭杆也有缺点，因为扭杆是横穿车体的，所以战地维修不便，不能像平衡式悬挂一样，直接用千斤顶顶起，整组悬挂卸下更换，一般需要到达比较正规的维修厂中才能修理。也易受地雷威胁（M1 的前后扭杆就安装在装甲套筒内，避免受到地雷攻击）。但相比巨大的优势，这点缺点都是可以忍受的。

下面看看实车上的扭杆具体长啥样：



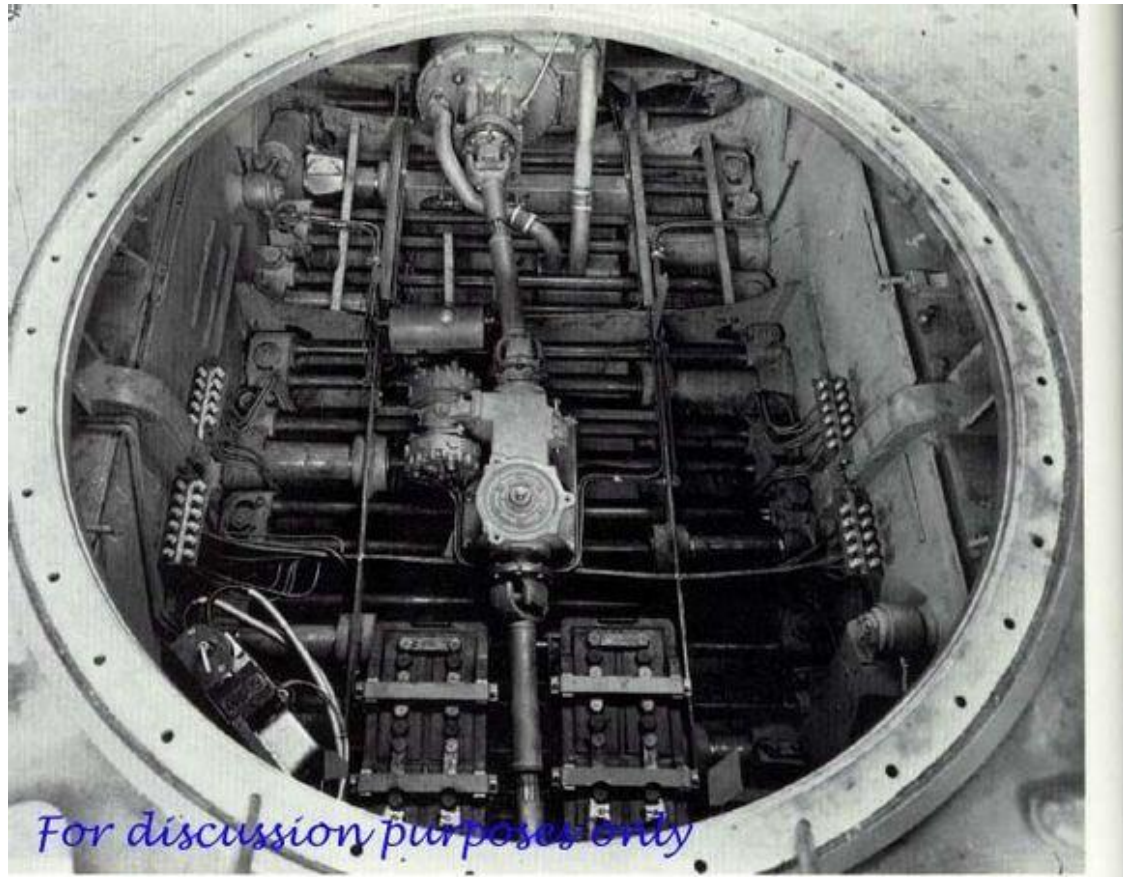
图中工人所拿的这根灰色的物体就是扭杆，而前后的就是摆臂，此照片是英国缴获自北非的 131 号早期虎在全面整修的时候所拍。

下面再看一张



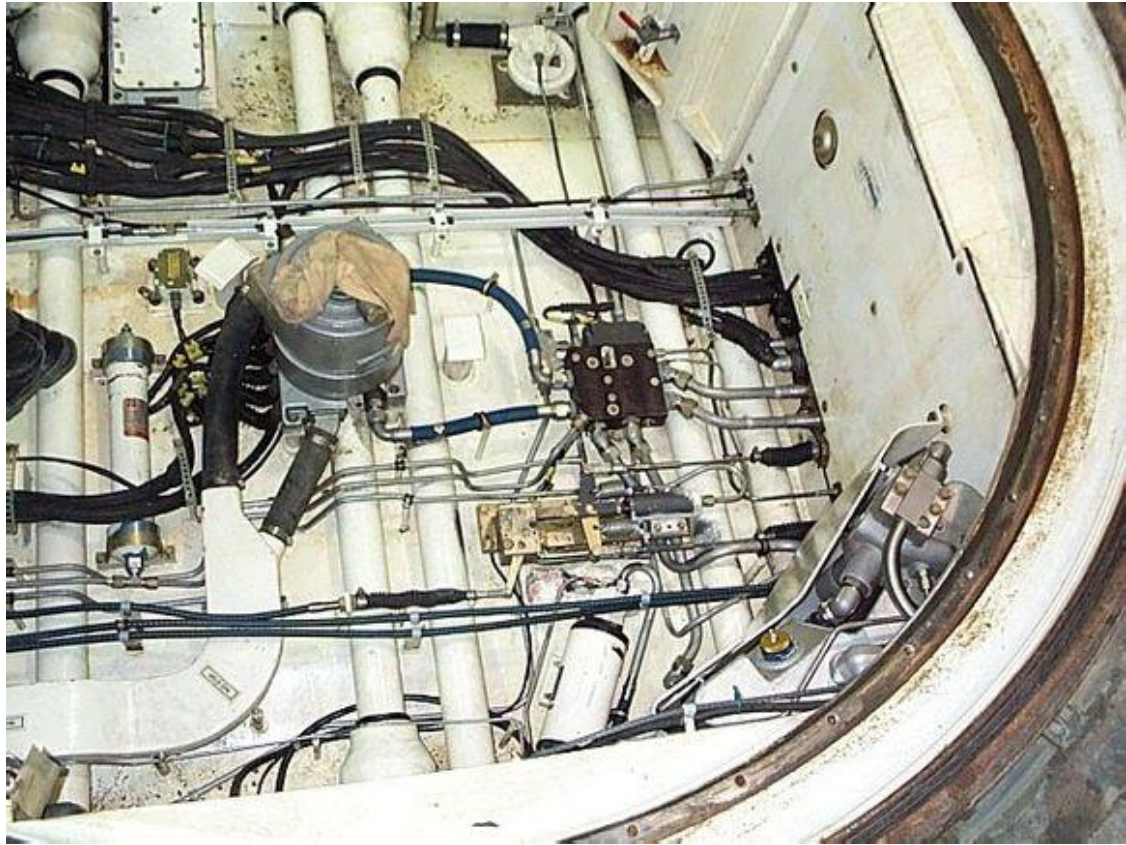
上图为当年亨舍尔工厂生产虎式时留存的照片，其中左侧工人正在安装的也是虎式的扭杆。大家可以对比下上上图，看看虎式左右侧的摆臂朝向（上上图车首在图片左侧，上图车首在图片右侧），这个下面会提到。

然后我们再看看扭杆悬挂在车体里的布置情况。



上图是黑豹的车体，去掉炮塔后从座圈处看到的内部结构，可以看到中间的变速箱传动轴（导致车体变高的元凶），下方的两组蓄电池，以及本文的主角，位于底部，横穿车体的扭杆。

再看看现代坦克的'



上图是 M1 的车体，去掉炮塔后从座圈处看到的内部结构，大家也可以清楚看到中间横穿车体的扭杆。

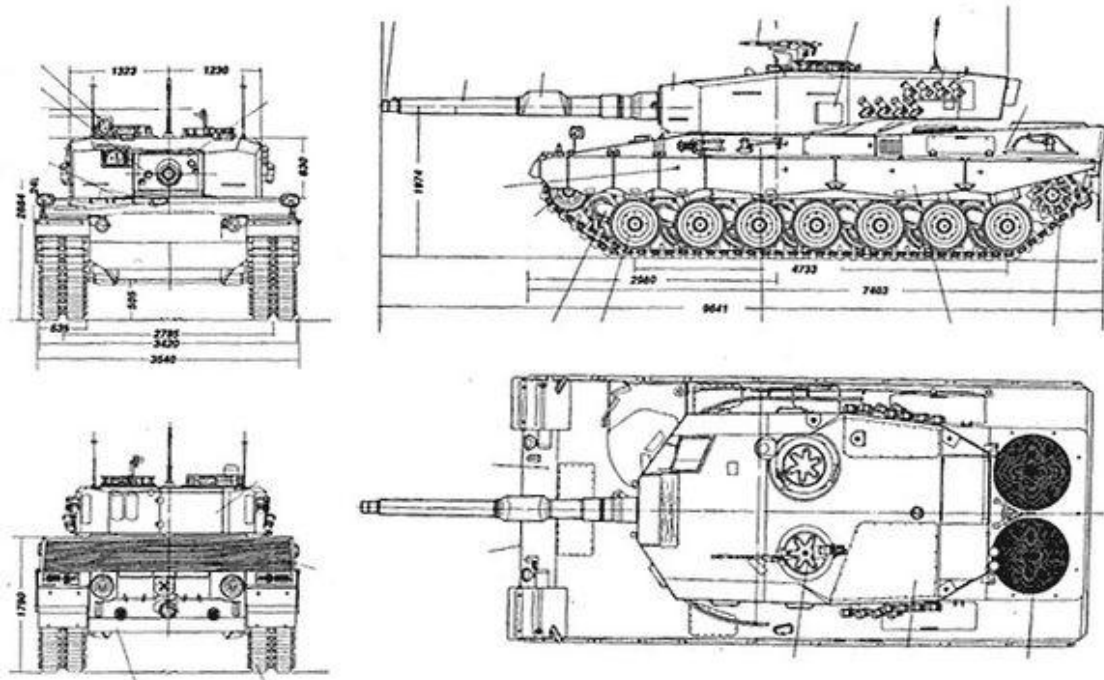
上面多次提到扭杆“横穿车体”，所以下面就要讨论下使用扭杆的车辆外部特征。

对，使用扭杆的战车外部特征表现为左右侧负重轮一般不对称。原因很简单，因为扭杆要横穿车体，左侧使用的扭杆需要穿过整个车体固定在右侧装甲板上，右侧使用的扭杆需要穿过整个车体固定在左侧装甲板上，于是左右的扭杆就必须错开布置，这也就导致了使用扭杆悬挂的车辆，左右的负重轮均要错开一定的距离，以便布置这些“横穿车体”的扭杆。

下图是豹 2 坦克，从前方履带的倾斜角度可以清楚看到左右的路轮错开的情况。



我们看看豹 2 的三视图



可发现豹 2 坦克的右侧所有负重轮均比左侧靠前，距离就是一根扭杆的直径。

5.2.2.1 Einleitung

Die Entwicklung und Konstruktion war Aufgabe der Fa. Porsche AG. Lediglich der hydraulische Endanschlag ist eine Konstruktion der Fa. Krauss-Maffei AG.

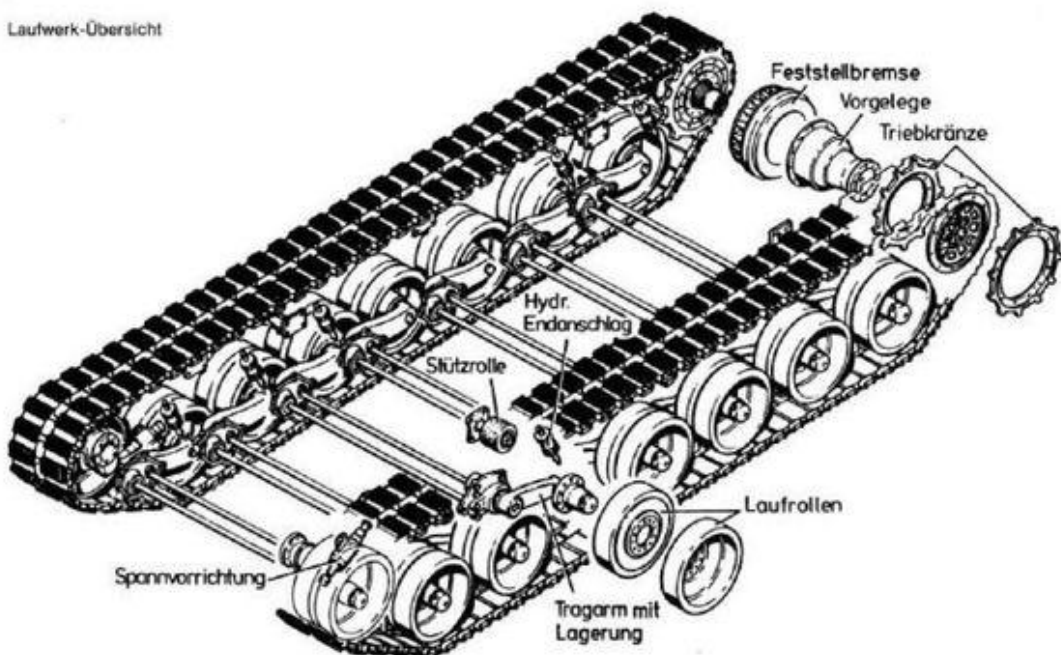
5.2.2.2 Aufbau

Das Laufwerk des KPz LEOPARD 2 ist mit 7 Doppellaufrollen – 700 mm Durchmesser- und 4 innen/außen versetzt

184 000 Nm bei einer Hubeigenschwingungszahl von 767 min.

Zusätzlich sind die Laufrollenpositionen 1 bis 3 sowie 6 und 7 bestückt mit geschwindigkeitsabhängigen **hydraulischen Endanschlägen** hoher Energieverzehung von 169 000 Nm bei einer Radeinfederungsgeschwindigkeit von 2,94 m/s. Die gleichen Laufrollen werden mit geschwindigkeitsunabhängigen Lamellenreibungsdämpfern versehen. Die Dämpferkräfte steigen mit zunehmender Einfederung der Laufrolle an.

Laufwerk-Übersicht



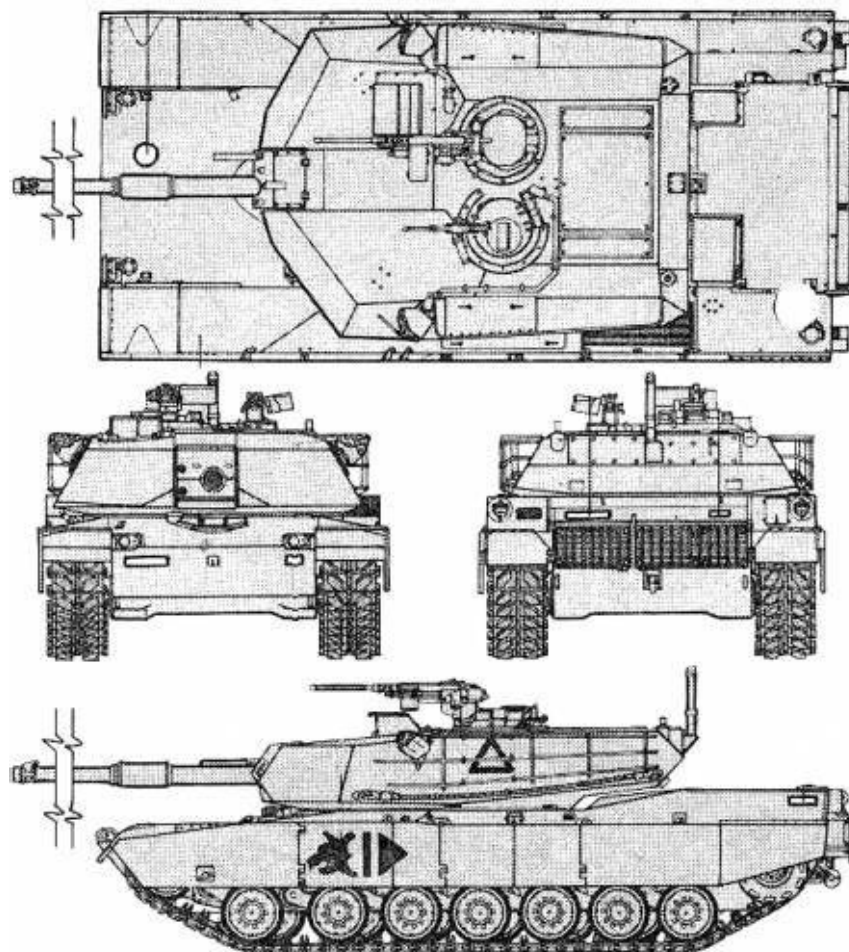
豹 2 的悬挂系统示意图

下面再看看 M1 艾布拉姆斯



可见左右轮组也是不对称的,与豹 2 相反,M1 的右侧所有负重轮均比左侧靠后,距离也是一根扭杆的直径

看看 M1 的三视图

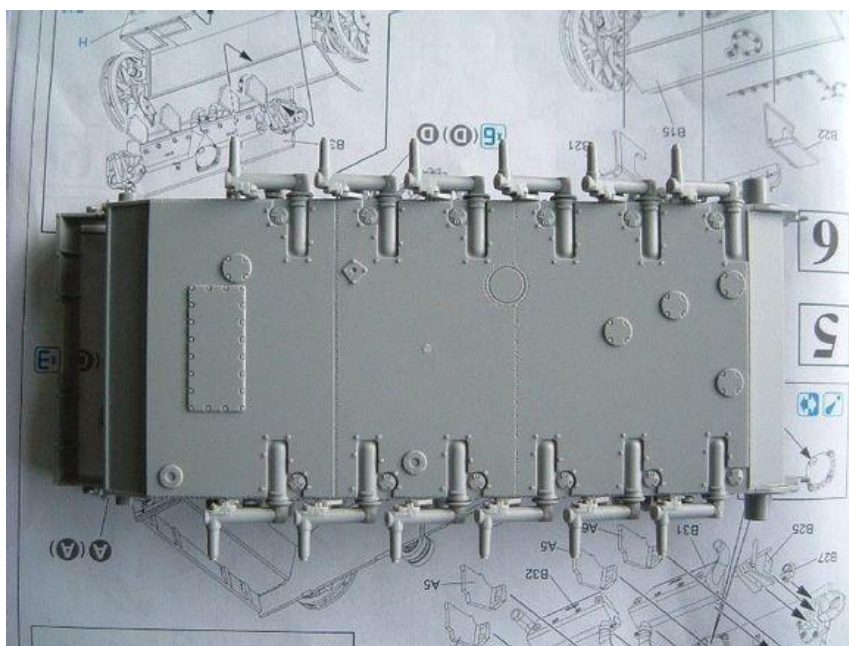


上图也显示 M1 的扭杆和轮子的布置情况。：

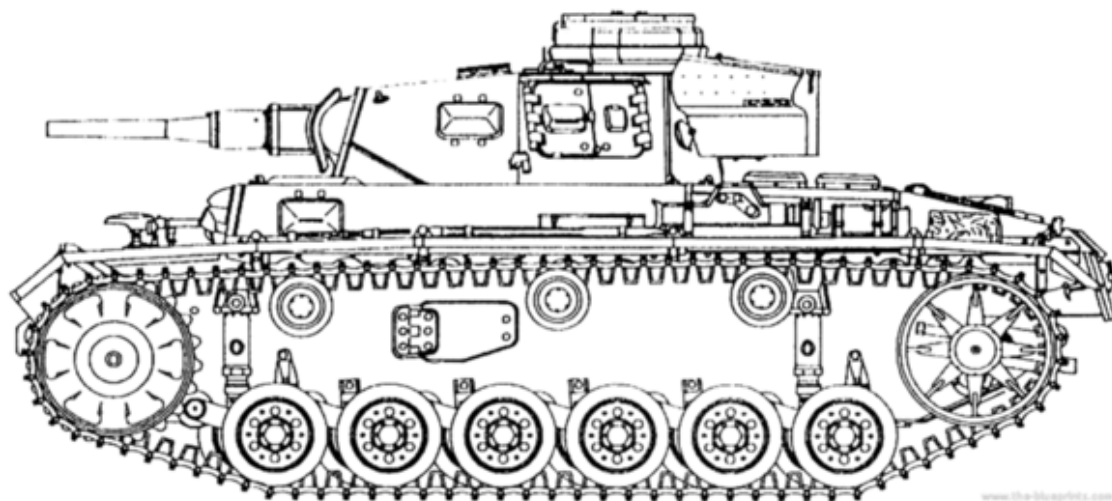
而同样使用扭杆的 III 号，KV 等坦克也是有同样的情况。
III 号



III 号的底盘示意图（模型）



III 号侧视图



以上图片均显示 III 号坦克的左右负重轮和扭杆布置情况，右侧轮组比左侧轮组靠前一根扭杆的距离。

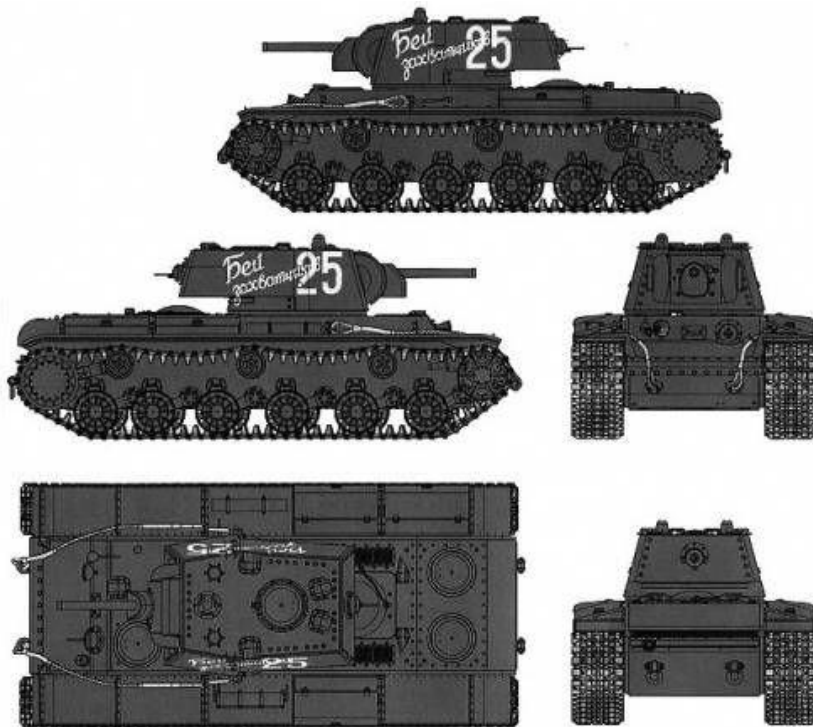
KV1





(上图有些神奇，是使用 T-34 mod 1940 的 L11 型 76mm 炮)

KV 五视图



KV 左侧轮组比右侧靠前错开一个扭杆的距离。

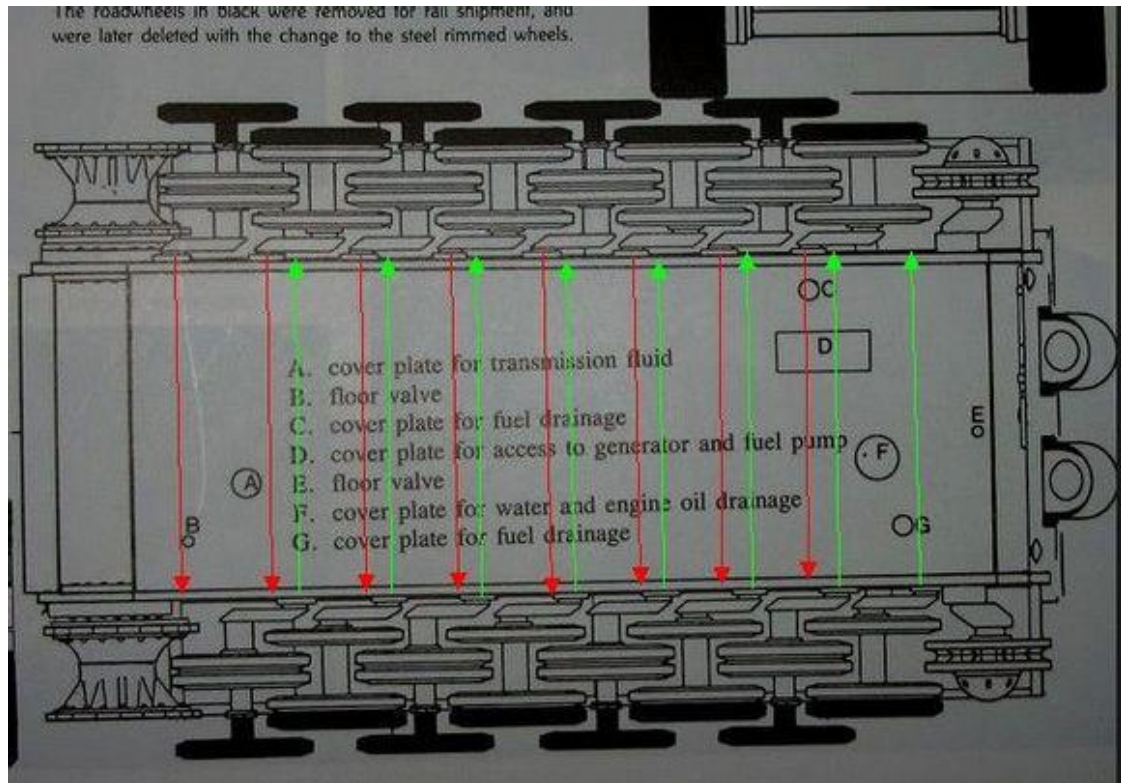
当然，也有例外，这个例外毫无例外就是我们可爱古板的德国人，上面二姐埋了个伏笔，让大家查看虎式左右摆臂的朝向问题，这里就要说明一下虎I式，黑豹式和虎王式这几种猫猫战车的设计。

重新拿出这两张图



A worker installs one of the Tiger's long torsion bars. Notice the length of the tool he is using which will give him enough leverage to move the other end of the bar once it is inserted all the way into the hull. At this point the fender skirt attachment points have been welded on, probably by the welder resting on the top of the tank.

从上面两图可以看出，虽然外边采用了多重重叠负重轮设计，虎式依旧跟 III 号，KV 一样使用扭杆悬挂。但是虎式的左右路轮却是对称的，为什么呢？上图就给出了解释，虎式，黑豹和虎王三种坦克，左右摆臂是反向布置的，左侧摆臂朝前，右侧摆臂朝后，运用这种方法错开扭杆，但路轮依旧能保持左右对称.....



上图显示虎 1 的底盘以及悬挂设置，箭头是二姐自己画的，这张图是虎式的底盘顶视图，红色代表上方，也就是车体右边悬挂的扭杆，绿色代表下方，也就是车体左边悬挂的扭杆，箭头位置是该条扭杆固定到车体上的位置，大家可看到虎式的扭杆是如何布置的，并且也能看到左右侧的摆臂反向布置的设计（上方也就是右侧的摆臂全部向后，下方，也就是左侧的摆臂全部向前，因此所有轮子依旧保持左右对称）

下面再看看黑豹的悬挂



上图是黑豹左侧摆臂布置，可看到全部朝前（右侧则全部朝后）



摆臂和轮轴特写

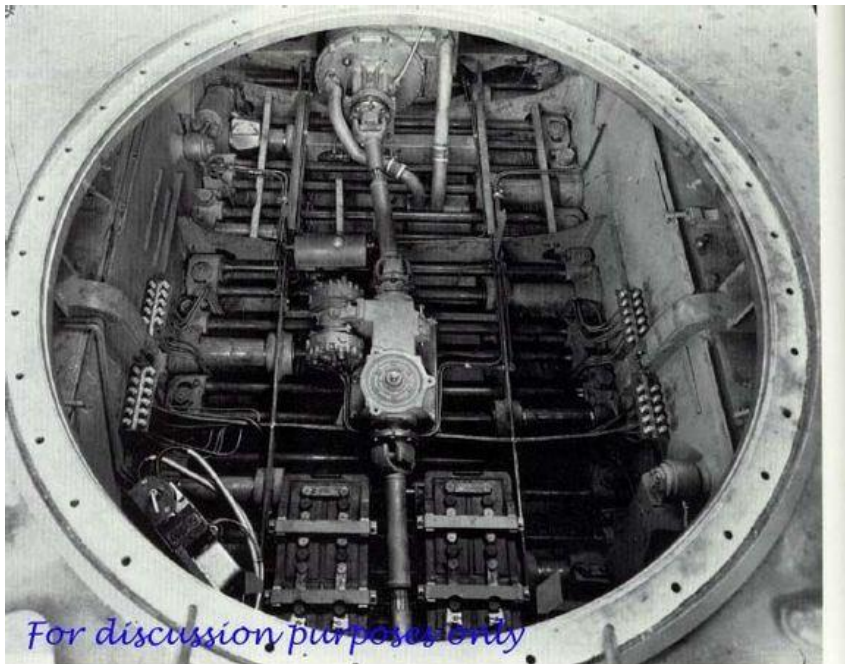


上面三突是去掉了扭杆以后的车体内部，大家可以看到扭杆的固定座，穿入车体时的套筒，但黑豹和虎式的悬挂有一定不同，与虎式的单扭杆悬挂不同，黑豹使用双扭杆悬挂，每一根摆臂连接到两根扭杆上，大家从上图也可以看到，左侧的那个扭杆穿入车体的套筒是有两个孔洞的，下图将可以看清黑豹的双扭杆悬挂布置。





由于实车设备过多，不易看清双扭杆的设置，所以采用上面两张模型的图片，大家可以跟下图实车图片对比一下，了解一下双扭杆的具体情况。



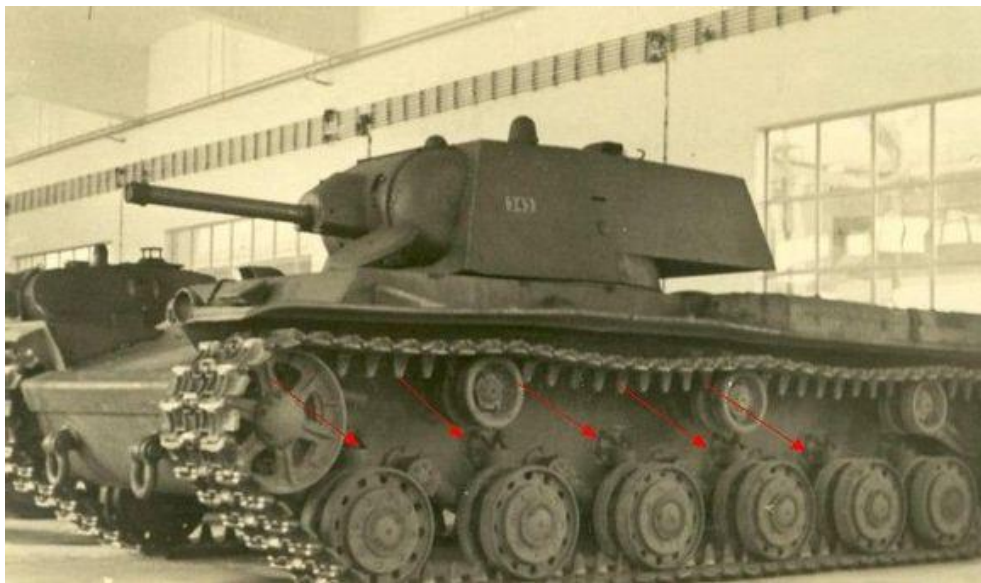
虎王的底盘照片因为二姐木有找到，所以在此略过，但虎王跟黑豹一样使用双扭杆设计。

最后再简要说说扭杆悬挂除了扭杆以外的一些设备。首先是限位器

上文提到由于扭杆的行程非常大，所以实际使用中为了避免损坏扭杆或者损坏车体，会在摆臂的活动范围内增设限位器，避免扭杆过度压缩，或者车体坐地。下图可看到 III 号的限位器，箭头所示就是限位器：



下图是 KV1 的限位器



另外，使用扭杆悬挂的车辆，通常在第一组和最后一组（有时候是第一第二组，以及最后一组，或者是最前和最后的两组）扭杆上安装减震器。下面还是以 III 号为例，箭头所示的两个竖直的圆柱就是减震器：



下面看看豹 2 的减震器（最后两对轮子上方斜向布置的圆柱体物体）由于豹 2 美眉总是穿着裙子，减震器一般不露面，所以用模型示意一下。

