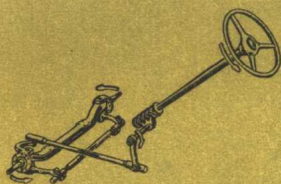


汽車的轉向

沈志煌編著



人民交通出版社

汽 車 的 轉 向

沈志煌編著

人民交通出版社

本書介紹現代有關汽車轉向的基本理論知識，汽車轉向機構的種類和構造，以及轉向增力器的原理。可供汽車運輸企業中的技術人員學習和參考之用。

書號：15044·4106

汽車的轉向

沈志煌編著

人民交通出版社出版

北京安定門外和平里

新華書店發行

中科藝文聯合印刷廠印刷

1956年7月上海第一版 1956年7月上海第一次印刷

開本：787×1092 1/32 印張：1 7/8 張

全書 52000 字 印數 1—11,100 冊

定價(10)：0.28元

上海市書刊出版業營業許可證出字第零零陸號

目 錄

一 汽車轉向的基本知識.....	1
二 轉向車輪的穩定.....	13
三 轉向車輪的振擺.....	21
四 轉向變速.....	28
五 轉向傳動.....	39
六 轉向增力器.....	46

一 汽車轉向的基本知識

現代的汽車，一方面由於輪胎的橫向彈性，在車輪受着橫向阻力時所引起輪胎的位變，使車輪不在與輪軸或轉向節相垂直的平面內滾動，而是在和該平面成一角度的平面內滾動，結果造成汽車轉向時的實際行駛路徑和轉向器要求的不相符合；另一方面由於轉向車輪的穩定狀態，常受着很多構造因素（例如片簧的彈性，轉向主銷的傾斜等）的影響。轉向車輪的穩定，是指車輪在偶然受着外力作用或轉向盤稍微轉動而偏離直線行駛時，有自動擺正回復直線行駛的能力。轉向車輪的穩定，還指車輪擺轉一定的角度後，在放鬆轉向盤時有迅速轉回直線行駛的能力。轉向車輪穩定性的降低，不但增加操縱的困難，同時駕駛時的緊張程度也愈大。所以，在轉向機構的設計上既要考慮到輪胎的橫向彈性，又要考慮到與轉向車輪穩定狀態有關的各個構造因素。此外，轉向機構的各項技術條件上，相互間也還存在着矛盾。駕駛時希望轉動轉向盤要輕要省力，又希望轉動轉向盤的角度要不大，這樣才能保證轉向的輕便和靈活。要求轉動轉向盤省力，轉向機構的傳動比就要定得大些。但是，在轉向機構的傳動比定得較大之後，要使轉向車輪轉過一個角度，轉向盤轉動的角度也必然要大些。轉向機構的傳動比定得過大時，要使轉向盤轉過一個角度，轉動轉向盤的角度就很大，結果會使汽車在常速行駛下，也難讓開路上的障礙或作急轉彎。所以，提高轉向的輕便性便會降低轉向的靈活性；相反的，提高轉向的靈活性也便降低轉向的輕便性。以上這些都說明了一個問題：汽車轉向的技術複雜性。現代汽車的轉向機構決不只是變更行駛的方向，而是要能保證轉向車輪的穩定狀態和轉向操縱的輕便靈活。沒有良好的轉向性能，任何一輛汽車都不可能在滿載高速下安全行駛的。

汽車轉向的基本要求和方法

汽車轉向的基本要求是在保持所有車輪的滾動而不發生滑動。要滿足這一基本要求，各個輪軸或轉向節的軸線在轉向時應相交於一點，使所有車輪都繞着這一交點來滾動。當各個車輪在繞着輪軸或轉向節的軸線上任何一點來滾動轉向時，是可以證明不會有滑動發生的。例如，用手拿住圓棒的一端，在另一端裝上圓盤。再把圓盤放在地上像車輪一般；而後轉動圓棒，圓盤就能滾動轉向，而不發生滑動的。汽車上的車輪雖然很多，只要所有車輪能繞着輪軸或轉向節的軸線交點來滾動轉向時，就都不會有滑動發生的。

任何汽車的轉向方法，都必需能使各個輪軸或轉向節的軸線在轉向時相交於一點。常見的轉向方法有下面幾種：

第一，前軸擺轉的方法（圖1）——把前軸整個的擺轉，使前後軸的軸線延長相交於點 O 。所有車輪在轉向時將繞着點 O 來滾動，並滾過不同半徑的圓弧。這種轉向方法僅用在全掛車上，前軸和車架之間必需安裝轉盤，所以也叫做轉盤式轉向。

第二，前輪擺轉的方法（圖2）——前輪擺轉的方法在汽車上應用最廣。主要在把前橋設計成三段：工字樑和左右轉向節；工字樑經片簧固住在車架上，使和後橋保持平行；左右轉向節用主銷成鉸鏈般的裝在工字樑兩端，可各自繞着主銷擺轉。左右轉向節在轉向時的擺轉角是不同的，應恰使左右轉向節的軸線延長到後橋軸線上相交於一點 O 。所有車輪將繞着點

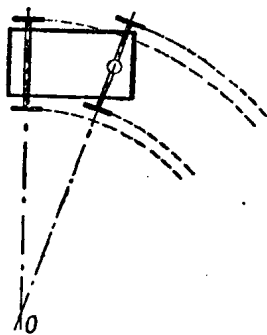


圖 1

O 來滾動，並滾過不同半徑的圓弧。左右後輪一般是驅動輪，要靠差速器的作用來保證在不同半徑的圓弧上滾動而不發生滑動。

轉向前輪是跟着左右轉向節一起擺轉的；左右轉向節的擺轉又是由轉向機構來操縱的。汽車的轉向機構（圖3）有轉向變速和轉向傳動兩個組成部分。轉向變速是依靠轉向器的降速比，使駕駛時轉動轉向盤的

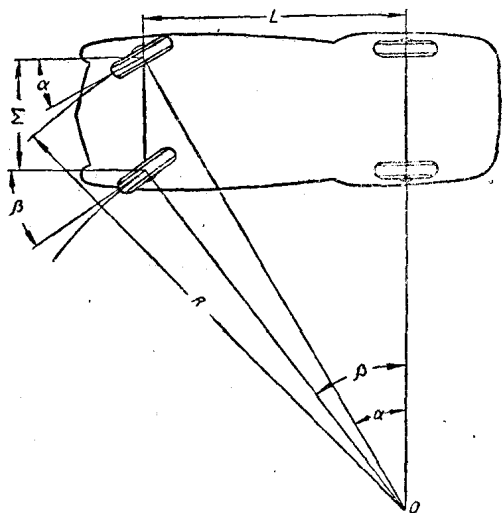


圖 2

力量增大；同時把轉向盤的左右轉動變成轉向臂的前後或左右擺動。轉向傳動是把力從轉向臂經轉向連桿與工字樑、左右轉向節臂和橫拉桿所

組成的轉向梯形傳到左右轉向節上；同時也把轉向臂的前後或左右擺動變成轉向節繞着主銷的擺轉。

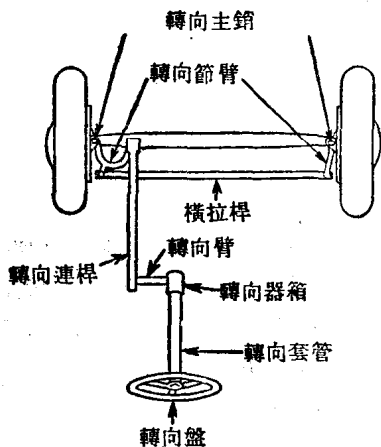


圖 3

汽車在轉向時，靠着轉向一側的車輪叫做內輪，另一側的車輪叫做外輪。例如，汽車向右轉向時，前右輪是轉向內輪，前左輪是轉向外輪。從圖 2 上不難看出，轉向內輪擺轉角 β 必大於轉向外輪擺轉角 α 。轉向內輪擺轉角 β 和轉向外輪擺轉角 α 間的關係，也可從圖 2 求得：

$$L \cot \alpha = L \cot \beta + M \quad \text{或} \quad \cot \alpha - \cot \beta = \frac{M}{L}$$

即轉向外輪擺轉角和轉向內輪擺轉角餘切的差，應等於轉向主銷間距離 M 對汽車軸距 L 的比值。轉向外輪擺轉角和轉向內輪擺轉角間的這一關係，是靠轉向梯形來保持的。事實上，轉向梯形不能完全無誤的保持轉向內外輪擺轉角間的關係；但差誤是不大的，不致會引起轉向車輪的橫向滑動和影響轉向的操縱。現代汽車的轉向內輪擺轉角約在 $35 \sim 40^\circ$ 之間，也有些汽車上竟高達 45° 的。

三軸汽車的轉向（圖 4），是假設左右轉向節的軸線延長到與後橋和中橋相平行，並與該兩橋成等距離的直線（ DE ）上相交於一點 O ，所有車輪在轉向時將繞着點 O 來滾動，並滾過不同半徑的圓弧。三軸汽車在轉向時，只有前輪能保持滾動而不發生滑動；後橋和中橋的車輪是有滑動發生的。

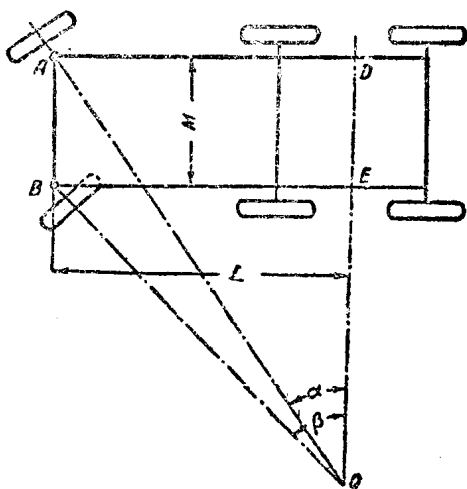


圖 4

第三，全輪擺轉的方法（圖 5）——把前後橋各分成三段，所有車輪都能分別繞着主銷擺轉。前後車輪的轉向傳動機構，

應恰使左右前轉向節的軸線延長，和左右後轉向節的軸線延長，在與汽車縱向軸線相垂直，並與前後橋成等距離的直線上相交於一點 O 。所有車輪在轉向時將繞着點 O 來滾動，並滾過不同半徑的圓弧。這種轉向方法只有在特種汽車（例如運木汽車）上有採用的。

在全輪轉向的汽車上，轉向內輪擺轉角 β 也必大於轉向外輪擺轉角 α 。轉向內輪擺轉角 β 和轉向外輪擺轉角 α 間的關係，從圖 5 可求得：

$$\cot \alpha - \cot \beta = \frac{2M}{L}$$

即轉向外輪擺轉角和轉向內輪擺轉角餘切的差，應等於轉向主銷間距離 M 對汽車軸距一半 $(\frac{L}{2})$ 的比值。

轉向半徑和通道寬度

二軸或三軸汽車轉向時，自所有輪軸或轉向節的軸線交點 O ，到轉向外輪的距離，是叫汽車轉向半徑 R 。轉向半徑 R 的計算公式，可從圖 2 和圖 4 求得：

$$R = \frac{L}{\sin \alpha}$$

在轉向外輪擺轉角 α 愈大或軸距 L 愈小時，轉向半徑 R 就愈小。若轉向外輪擺轉角相同，軸距較短的汽車，轉向半徑也較小。在一定型式的汽車上，軸距 L 是一個不變值；因此在轉向外輪最大擺轉角時，轉向半徑是最小。在前輪轉向的汽車上，最小轉向半徑是：

$$R_{\min} = \frac{L}{\sin \alpha_{\max}}$$

在全輪轉向的汽車上，最小轉向半徑又是：

$$R_{\min} = \frac{L}{2 \times \sin \alpha_{\max}}$$

最小轉向半徑愈小，汽車活動的面積可以愈小，汽車的活動性能也愈好。貨車的最小轉向半徑約自 7~13 公尺。

汽車轉彎行駛的路徑，一般可分成三組線段，如圖 6 所示。直線 AB 和 EF 表示汽車向前直駛的線段。曲線 BC 和 DE 表示汽車在轉向車輪擺轉角逐漸增大或減小下行駛的線段，線段上每點的轉向半徑都是

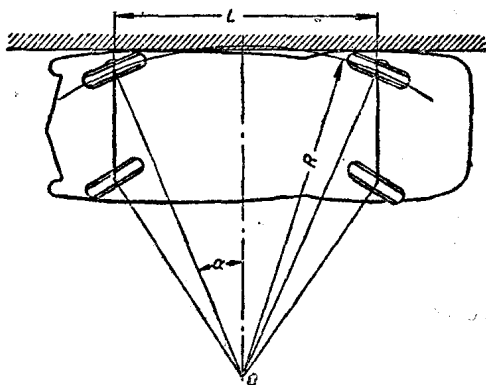


圖 5

不同的。弧線 CD 表示汽車在轉向車輪擺轉角為一定數值下行駛的線段，線段上每點的轉向半徑都是相同的。但是由於路面的不平和轉向機構中間隙的存在，轉向車輪的行駛路徑決不只是簡單的直線、曲線或弧線，而是沿線段 AB 、 BC 、 CD 、 DE 和 EF 左右擺轉、擺幅不大的很多組曲線。從整個轉彎行駛的過程來看，轉向半徑是隨時在變動着的，所有輪軸或轉向節的軸線交點 O 也不斷在變動着。因此，所有輪軸或轉向節的軸線交點 O 就叫做瞬時轉向中心。

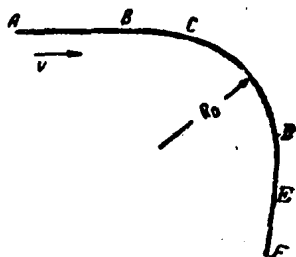
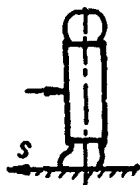


圖 6

汽車轉彎時的通道寬度，是指轉向外輪的轉向半徑和後橋內輪的轉向半徑間的差值。通道寬度的大小，決定了汽車在一定的轉向車輪擺轉角下轉彎時所必需的自由空間。通道寬度的大小也是隨着轉向車輪的擺轉角而變化的。一般說來，汽車的最小轉向半徑愈小，在轉向車輪最大擺轉角下轉彎時的通道寬度也愈小。全輪轉向汽車的通道寬度是等於轉向外輪的轉向半徑和轉向內輪的轉向半徑間的差值。全輪轉向汽車的通道寬度比前輪轉向的汽車要小些；但是由於轉向後輪是朝着相反方向擺轉的緣故，在汽車靠近路邊行駛時，反不能作較大的轉向，而造成駕駛上的不便。



輪胎橫向彈性的影響

彈性輪胎在受着橫向阻力時，車輪並不在與輪軸或轉向節相垂直的平面內滾動，而是在和該平面成一角度 δ 的平面內滾動。如圖 7 所示，角 δ 是叫做橫向偏出角。橫向偏出角在一定數值以內時，是和橫向阻力 S 成比例的；可用下面的公式來表示：

$$\delta = S \times \zeta_x$$

橫向偏出係數 ζ_x 是隨着輪胎橫向彈性而變的。輪胎氣壓降低時，橫向偏出角大大地增加，橫向偏出係數也隨着增大。輪輞(鋼



圖 7

S —橫向阻力

圈) 寬度增加時, 橫向偏出角相應地減小, 橫向偏出係數也隨着減小。增加輪胎簾布線的傾斜角, 也可降低橫向偏出角和橫向偏出係數。橫向偏出係數和輪胎垂直負荷間的關係, 在開始時橫向偏出係數隨着垂直負荷的增加而減小; 而當垂直負荷接近該輪胎所規定的最大數值時, 橫向偏出係數到達最小值; 若再增加垂直負荷, 橫向偏出係數又形增加。

由於彈性輪胎的橫向偏出角, 車輪並不繞着輪軸或轉向節軸線滾動, 而是繞着 OO_1 線滾動 (圖 8)。 OO_1 線和輪軸或轉向節軸線間的夾角, 也相等於橫向偏出角 δ 。彈性輪胎的橫向偏出, 使汽車在受着外界因素 (例如道路的橫向坡度, 路面不平或橫向風等) 致車輪上產生橫向阻力時, 有自行改變行駛方向的趨勢; 以及汽車在轉向時將不照着轉向車輪所指出的方向前進 (圖 9)。這種現象在裝用低壓輪胎和高速行駛時, 將更加突出。

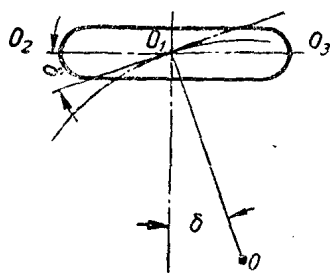


圖 8

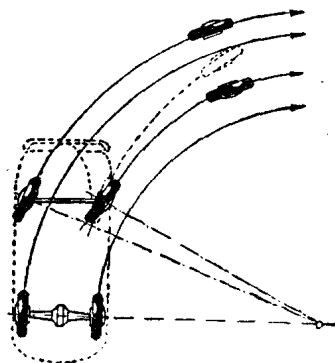


圖 9

假若彈性輪胎的橫向偏出角, 在前輪上是 δ_A , 後輪上是 δ_B , 那末汽車轉向時, 所有車輪實際繞着滾動的軸線延長相交於點 O_1 (圖 10)。點 O_1 不再是在後橋軸線的延長線上 (如圖 10 上點 O), 而是在前後橋中間, 和汽車縱向軸線相垂直的某一直線上。

當後輪的橫向偏出角比前輪的大時, 點 O_1 的位置將向前橋移動, 同時轉向半徑比在前後輪橫向偏出角相等時要小。因而轉向時所產生的離

心力增大，車輪的橫向偏出角隨着增大；點 O_1 的位置也將隨着愈向前橋移動，同時轉向半徑也不斷縮小。結果是會造成汽車的轉向超過了轉

向器所要求的程度。在汽車的某臨界速度下，因轉向半徑的不斷縮小，離心力和橫向偏出角的不斷增大，車輪將失去附着能力和開始橫向滑動。汽車有轉向過度的現象時，應將轉向盤稍回轉些，才能避免向一邊超轉。有轉向過度現象的汽車是不穩定的和操縱困難的。避免和減少轉向過度現象的產生，在減少後輪橫向偏出角或增加前輪橫向偏出角。一般可用增加輪胎氣壓的方法，將後輪輪胎的氣壓提高和前輪輪胎的氣壓降低；或改變前後橋的負荷分佈，使後輪的橫向偏出角減小。

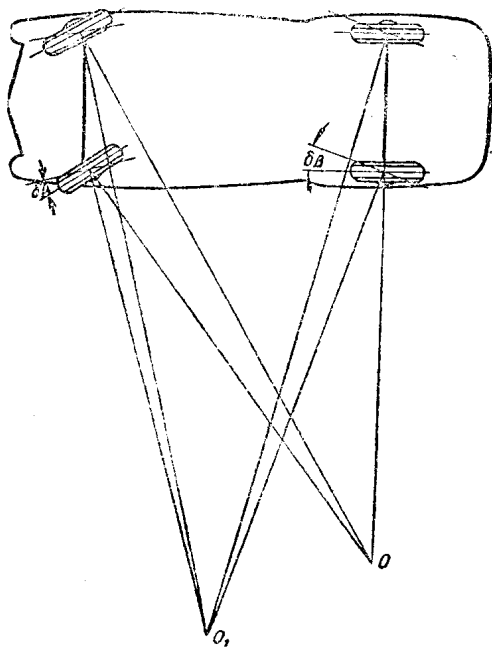


圖 10

若後輪的橫向偏出角比前輪的小時，點 O_1 的位置將向後橋移動，同時轉向半徑比在前後輪橫向偏出角相等時要大。因而轉向時所產生的離心力減小，車輪的橫向偏出角隨着減小；點 O_1 的位置也將隨着愈向後橋移動，同時轉向半徑也不斷增大。結果造成汽車的轉向較轉向器所要求的程度為小。汽車有轉向不足的現象時，應將轉向盤多轉些。有轉向不足現象的汽車，因轉向半徑的不斷增大而有自動擺正的趨勢，所以是比較穩定的和容易操縱的。

此外，彈性輪胎的橫向偏出還對汽車轉向有着如下的幾點影響：

1) 能保持汽車轉向時所有車輪的滾動，甚至在轉向梯形的工作不正常時；2) 減少轉向時所必需施加在轉向盤上的力，尤其是在汽車低速行駛時；3) 在轉向後使車輪有自動擺正的傾向。

由上可知，彈性輪胎的橫向偏出對汽車轉向有着多麼重大的關係。但是決定輪胎橫向偏出的各個因素，對橫向偏出角所起的影響，都不能在事前估計得到的，而是必須經過實驗來決定的。因此汽車轉向的複雜和困難，也就在於此。

轉向傳動比

轉向傳動比有二：

1) 角傳動比 i_a ——轉向盤轉動角對裝在和轉向盤同一邊的轉向車輪擺轉角的比值；

2) 力傳動比 i_p ——轉向車輪在和路面接觸處所受的力對轉向盤邊緣上作用力的比值。

角傳動比 i_a 等於轉向變速的降速比 i_1 和轉向傳動的速比 i_2 的乘積。轉向變速的降速比 i_1 是由轉向盤轉動角對轉向臂軸擺轉角的比值來決定。依照轉向器的型式，轉向變速的降速比可以是常數，也可以是變數，即在轉向過程中有變化。貨車的轉向變速降速比約在 15~25 之間。轉向傳動的速比 i_2 是指轉向臂軸擺轉角對裝在和轉向盤同一邊的轉向車輪擺轉角的比值。這個速比決定在轉向臂和轉向節臂的長度，如圖 11

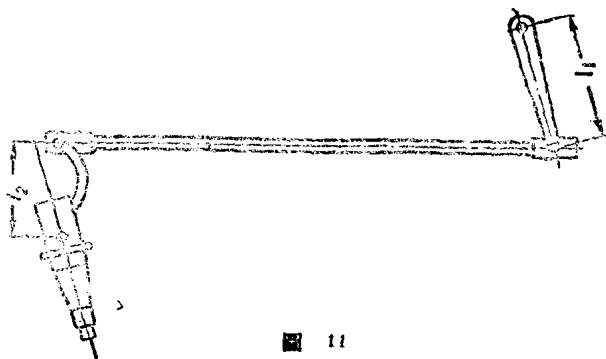


圖 11

所示，設 l_1 等於轉向臂的長度， l_2 等於轉向節臂的力臂，那末

$$i_2 = \frac{l_2}{l_1}$$

由於轉向連桿傾斜的變化，轉向傳動的速比在轉向過程中不能保持常數。在各種貨車上，轉向傳動的速比是在 0.85~1 之間。所以角傳動比 i_0 也就約在 12.5~25 之間。

力傳動比 i_p 也是兩個傳動比的乘積：1) 傳動比 i_1' 是沿轉向連桿作用的力 F 對轉向盤周緣上作用力 P_r 的比值（圖 12）；2) 傳動比 i_2' 是轉向車輪的輪胎和路面間作用力 $n \times P_{\kappa}$ 對沿轉向連桿作用的力 F 的比值。設 R 等於轉向盤的半徑，從圖 12 可得：

$$i_1' = \frac{F \times l_1}{P_r \times R},$$

因此

$$i_p' = \frac{F}{P_r} = i_1' \times \frac{R}{l_1},$$

再設 r' 等於輪胎中線到轉向主銷軸線延長到路面上交點間的距離，從圖 21 又得：

$$i_p'' = \frac{n \times P_{\kappa}}{F} = \frac{l_2}{r'}.$$

傳動比 i_p'' 的計算公式，祇是在一定的 r' 最小值以上時是正確的。如 r' 值更小時，將引起輪胎和路面間的滑動摩擦，致轉向車輪擺轉時的阻力開始增大。

力傳動比 i_p 可從傳動比 i_p' 和 i_p'' 算出：

$$i_p = i_p' \times i_p'' = i_1' \times \frac{R}{l_1} \times \frac{l_2}{r'} = i_1' \times \frac{l_2}{l_1} \times \frac{R}{r'} = i_0 \times \frac{R}{r'}.$$

① n 表示轉向車輪的輪數，在前輪轉向時， $n=2$ ； P_{κ} 指每一轉向車輪的輪胎和路面間的作用力。

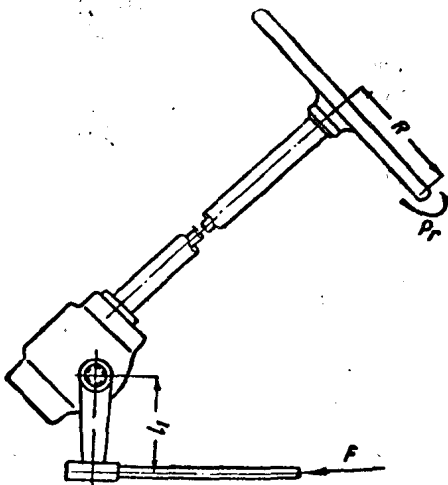


圖 12

在各種貨車上，力傳動比 i_p 約在 100~300 之間。

擺轉力矩和擺轉速度

擺轉力矩是指沿轉向連桿作用的力 F 乘上轉向節臂的力臂 l_2 所得的力矩；它是用來克服轉向車輪擺轉時的各種阻力的。轉向車輪擺轉時的各種阻力有：

- 1) 轉向車輪的滾動阻力；
- 2) 彈性輪胎的滑動摩擦阻力；
- 3) 彈性輪胎橫向偏出所引起的彈性阻力；
- 4) 轉向主銷內傾所引起轉向時汽車前端的升起；
- 5) 轉向主銷後傾所引起轉向時作用在車輪上的向心力；
- 6) 轉向機構的摩擦阻力。

駕駛者作用在轉向盤周緣上的力 P_r 所產生的擺轉力矩，可從力 P_r 、轉向盤的半徑 R 、角傳動比 i_ω 和轉向機構的總傳動效率 η 求得：

$$\text{擺轉力矩} (F \times l_2) = P_r \times R \times i_\omega \times \eta$$

P_r 一般應不超過 10~15 公斤；但在起步或停車時轉向，可能需要 20~30 公斤。提高角傳動比 i_ω ，可增大擺轉力矩；使轉向車輪和路面間的作用力 P_K 隨着增大，轉向也就輕便些。但是，每個轉向車輪和路面間的作用力 P_K ，是受着附着力限制的。當擺轉力矩增大後，作用在每個轉向車輪和路面間的力，超過了這一轉向車輪的附着力時，轉向車輪將發生滑動，汽車也就因不能轉向而失去控制。所以汽車的轉向，不但要靠作用在轉向盤周緣上的力 P_r ，也還須能保持轉向車輪的附着條件 $P_K \leq \psi \times G_K$ ；式中 G_K 等於轉向車輪的垂直負荷， ψ 代表附着係數。由於輪胎在轉向時是繞着主銷擺轉，而不是前後拖動的緣故，影響輪胎和路面間摩擦的因素就比較複雜；附着係數 ψ 一般要高些，可取 0.8~1。

不同車型的汽車，在各種情況下轉向時，實際需要擺轉力矩的大小，還不可能用公式來計算。實驗的結果證明，轉向所需的擺轉力矩是和前橋負荷成正比例的。圖 13 示三種不同車型的汽車在轉向時所需擺轉力矩和前橋負荷間的關係。但在前橋負荷超過某一定限度時，所需擺轉力矩的增大比前橋負荷的增加要更快些。

擺轉速度是指轉向車輪擺轉角增大或減小的快慢程度。擺轉速度是同駕駛者在轉動轉向盤時所能發出的功率和擺轉力矩有關的。一般駕駛者在轉動轉向盤時所能發出的功率至大不超過 $\frac{1}{2}$ 馬力；因而擺轉力矩愈大時，擺轉速度就愈小。圖 14 示三種不同擺轉速度下，轉動轉向盤所需功率隨擺轉力矩而變的關係。設轉向機構的角傳動比 i_s 為 30:1，總傳動效率 η 為 75%，轉向盤半徑 R 為 0.25 公尺。當駕駛者在轉向盤的周緣用上 25 公斤力量後，所能產生的擺轉力矩應有 140 公斤-公尺。然後在圖 14 的橫座標上找到 140 公斤-公尺的一點，從這點作垂線，使與三種不同擺轉速度的線相交，得 A、B、C 三點。點 A、B、C 就決定了在擺轉力矩為 140 公斤-公尺和不同擺轉速度下所需轉動轉向盤的功率。

一般駕駛者在轉動轉向盤時所能發出的功率至大不超過 $\frac{1}{2}$ 馬力；因而擺轉力矩愈大時，擺轉速度就愈小。圖 14 示三種不同擺轉速度下，轉動轉向盤所需功率隨擺轉力矩而變的關係。設轉向機構的角傳動比 i_s 為 30:1，總傳動效率 η 為 75%，轉向盤半徑 R 為 0.25 公尺。當駕駛者在轉向盤的周緣用上 25 公斤力量後，所能產生的擺轉力矩應有 140 公斤-公尺。然後在圖 14 的橫座標上找到 140 公斤-公尺的一點，從這點作垂線，使與三種不同擺轉速度的線相交，得 A、B、C 三點。點 A、B、C 就決定了在擺轉力矩為 140 公斤-公尺和不同擺轉速度下所需轉動轉向盤的功率。

一般駕駛者在轉動轉向盤時所能發出的功率是不可能超過 $\frac{1}{2}$ 馬力的，所以在上述舉例的情況下，擺轉速度就最大只有 10 度/秒，相當於點 C 所給出的。

擺轉速度增大時，橫向阻力和橫向偏出角都要增大。在有轉向過度現象的汽車上，過大的擺轉速度將加速導致汽車的不穩定狀態和轉向操縱的困難。

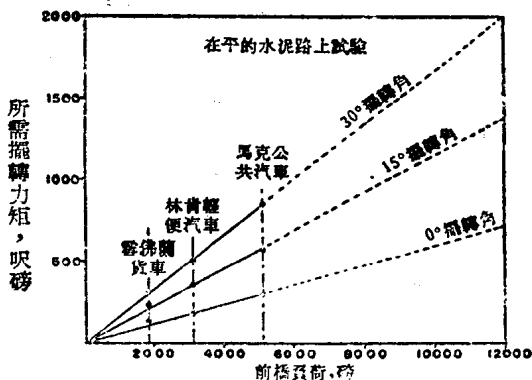


圖 13

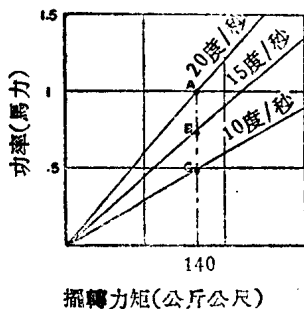


圖 14

二 轉向車輪的穩定

轉向車輪的穩定，是指車輪在偶然受着外力作用或轉向盤稍微轉動而偏離直線行駛時，有自動擺正回復直線行駛的能力。轉向車輪的穩定，還指車輪擺轉一定的角度後，在放鬆轉向盤時有迅速轉回直線行駛的能力。轉向車輪愈穩定，汽車向前直駛的性能愈好，汽車的操縱也愈輕便。汽車只有在轉向車輪的穩定良好時，才能降低燃料、輪胎和零件的消耗，同時也才能減輕駕駛的緊張程度。

轉向車輪穩定的獲得，在極大程度上是同轉向車輪和轉向主銷的裝置角度（圖 15）有關。轉向車輪的穩定，也同輪胎的橫向彈性有關的。如果轉向車輪同時又是驅動車輪時，轉向車輪將受着驅動時前進推力的影響而趨穩定，因此轉向車輪和轉向主銷的裝置角度比不驅動的可以定得小些。

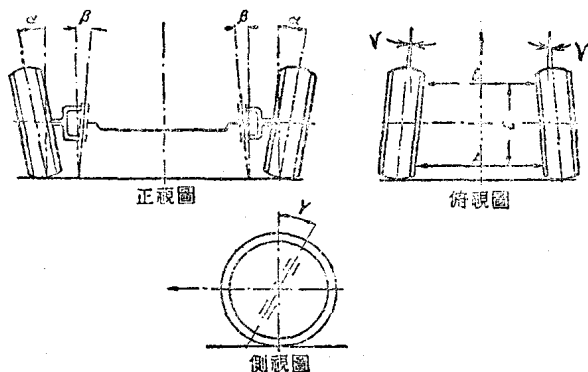


圖 15

轉向主銷後傾和輪胎橫向彈性

轉向主銷在裝置時，上端略向後傾；使主銷軸線延長和路面的交點，