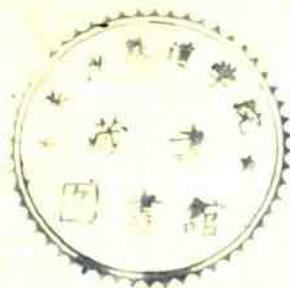


8737
LSY₀₁

147175

庫本 汽车与拖拉机
自由轮的设计

林世裕 編著



中国工业出版社

汽车与拖拉机

自由轮的设计

林世裕 编著

中国工业出版社

本书首先介绍自由轮的功用、特点、分类、构造及其在汽车与拖拉机传动系中的应用实例。然后，对于自由轮的工作原理进行分析，在分析的基础上阐述了滚子式与滑块式自由轮的几何计算与强度计算，并列有计算实例。最后，说明了在自由轮设计、制造与使用中的注意事项。

本书可供汽车与拖拉机设计制造技术人员及高等工业学校汽车与拖拉机专业师生工作与教学中参考。

本书承程悦蓀同志审阅，并提出许多宝贵意见，特此致谢。

对于本书的意见与批评，请寄江苏省镇江市镇江农业机械学院汽车拖拉机教研组。

汽车与拖拉机自由轮的设计

林 世 裕 编著

第八机械工业部图书杂志编辑部教材编辑室编辑（北京北两路54号）

中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $2^{1/16}$ ·5

1965年8月北京第一版·1965年8月北

印数0001—3,190·定价(料五)0.

统一书号：15165·4035(八机-89)

目 录

本书常用符号

§ 1. 自由輪概述	1
一、自由輪的功用与特点	1
二、自由輪的分类与构造	1
三、汽車与拖拉机传动系中自由輪的应用实例	7
§ 2. 自由輪的工作原理	19
一、滾子式自由輪的工作原理	19
二、滑块式自由輪的工作原理	22
§ 3. 自由輪的几何計算	25
一、滾子式自由輪的几何計算	26
二、滑块式自由輪的几何計算	36
§ 4. 自由輪的强度計算	37
一、自由輪各元件的材料	37
二、滾子式自由輪的接触强度計算	38
三、滑块式自由輪的接触强度計算	43
四、滾子式自由輪的設計計算方法	45
五、滾子式自由輪的設計計算实例	50
六、滑块式自由輪的校核計算实例	53
§ 5. 自由輪在设计、制造及使用中的注意事项	55
一、滾子式自由輪	55
二、滑块式自由輪	59
参考文献	61

§1. 自由輪概述

一、自由輪的功用与特点

在汽車与拖拉机传动系中，自由輪（单向离合器、超越离合器）能起下列两种作用：

1. 单向传动的作用——能将扭矩从主动元件单向地传递給从动元件，而且可以根据主动元件与从动元件之間轉速的不同关系而自动地传动或分离（如在汽車的自动超速传动中）。

2. 单向鎖定的作用——能将某一元件（例如，行星机构中的行星輪架）单向地鎖定，而且可以根据两个元件之間受力关系的不同而自动地鎖定或分离（如在拖拉机的行星式增扭器中）。

根据以上两种作用，可以看出，自由輪的主要特点为：

1. 自由輪只能单向地起传动或鎖定的作用——当主动元件或被鎖定元件的旋轉方向相反时，自由輪就处于分离状态。

2. 自由輪的接合（传动或鎖定）与分离是自动地进行的——在起传动作用时，当主动元件与从动元件之間的相对轉速或轉动方向发生某种变化时，自由輪就会自动地从接合状态轉入分离状态。同理，在起鎖定作用时，当被鎖定元件的受力方向改变时，自由輪也会自动地从接合状态轉入分离状态。

自由輪虽然早已出現，但是由于这种机构中各部分零件的材料、机械加工与热处理的质量要求較高，因而在过去未能广泛采用。但是由于現代机械制造工艺水平的不断提高，克服了材料与制造中的困难，因此自由輪目前已广泛用于汽車、拖拉机、摩托车、自行車、飞机、金属切削机床与起重运输机械中。

二、自由輪的分类与构造

自由輪可以分为摩擦式与嚙合式两类

1、摩擦式自由輪

这种自由輪是利用各元件工作表面之間由于楔紧作用而产生的摩擦力来传递扭矩的。

根据产生摩擦力的楔紧元件結構的不同，摩擦式自由輪又可以分为滚子式、滚珠式、滑块式、綜合式与楔式五种。

(1) 滚子式自由輪 (图 1)

在这种自由輪中具有外圈 1、内圈 2、圆锥滚子 3、压紧弹簧 4 (或保持器) 和挡环 5。根据主动元件是内圈或是外圈，就分别在內圈外工作表面或外圈内工作表面上制有凸輪面。通常由于主动元件往往是內圈而且由于制造工艺上的原因 (在外表面上复杂輪廓形狀的加工，要比在內表面上容易得多，而且能保証較高精度)，常常是在內圈外工作面上制成凸輪面。

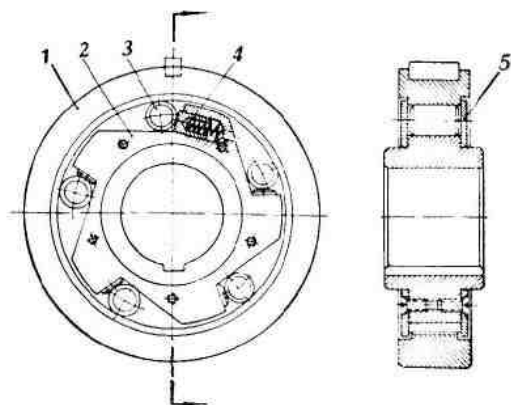


图 1 滚子式自由輪

1—外圈；2—內圈；3—滚子；4—压紧弹簧；5—挡环

压紧弹簧的作用是：

①将滚子压向内外圈之間楔形槽的狭窄部分，以保持滚子与内外圈之間的接触，由于弹簧的压紧力很小，并不产生楔紧力；

②在滚子楔紧过程中，可以使自由輪完全避免，或者最大限

度地縮短死行程（從分離狀態過渡到接合狀態所經過的行程稱為死行程）；

③保證各滾子之間的載荷均勻地分布，因此當滾子寬度大時，有時採用雙列壓緊彈簧。

壓緊彈簧的壓緊力不宜過大，以免增加分離狀態時的摩擦損失。在滾子數目較多的滾子式自由輪中往往不採用壓緊彈簧。

當自由輪的轉速較高，滾子數目較多時，常採用保持器，以保持各滾子在一定的位置。

圓柱滾子的數目至少為3~4個，在汽車與拖拉機傳動系中常採用8~20個。

在圖1中當主動元件（內圈2）沿順時針方向旋轉時，滾子3就卡在內圈2和外圈1之間楔形槽的狹窄部分，保持楔緊狀態，因此扭矩就能由內圈2經滾子3而傳到從動元件（外圈1）。而當內圈2反時針方向旋轉時，滾子有向楔形槽的寬闊部分移動的傾向，但為壓緊彈簧4所阻礙，而仍停留在狹窄部分，可是由於接觸表面上的壓力很小，並不能產生楔緊作用，因而處在分離狀態，使扭矩不能由內圈再傳向外圈。為了防止滾子從軸向脫落，因此在滾子的兩個端面裝有擋環5。

滾子式自由輪具有下列優點：

①結構較簡單，因此製造容易、使用與修理方便；

②楔緊過程中幾乎完全沒有死行程，分離過程也很容易，因此在工作中極靈敏，而且幾乎沒有噪音；

③分離狀態時容許的速度高，且摩擦損失小；

④可以在外廓尺寸較小的條件下，傳遞較大的扭矩；

⑤無論在低速和高速時，載荷低和載荷高時工作都很可靠。

因此滾子式自由輪目前應用最廣泛。在蘇聯已有機械製造業標準MH3-61，規定了這種自由輪的尺寸和技術規範⁽⁸⁾。

（2）滾珠式自由輪

這種自由輪的結構與滾子式的相似，但楔緊元件改用滾珠來代替滾子，所能傳遞的扭矩較小於滾子式，因此較少採用。

(3) 滑块式(偏心滚子式)自由輪

在这种自由輪中具有外圈1、內圈2、滑块(偏心滚子)3和环形弹簧4。內外圈的工作表面都是圆柱表面,并不形成楔形槽。滑块工作表面却具有特殊形状。在滑块两个端面的中部开有凹槽,在凹槽中有环形弹簧穿过,将各个滑块联接在一起。环形弹簧的作用与滚子式自由輪中压紧弹簧的作用相似。

在图2中,当主动元件(內圈2)沿反时针方向旋轉时,滑块3从图2,b中的傾斜位置轉到图2,c中的垂直位置,楔紧在內圈2和外圈1之間,因此扭矩可以由內圈2經滑块3而传到外圈1。当內圈2沿顺时针方向旋轉时,滑块3就恢复到图2,b中的傾斜位置,使自由輪处于分离状态,于是扭矩就不能再由內圈传向外圈。

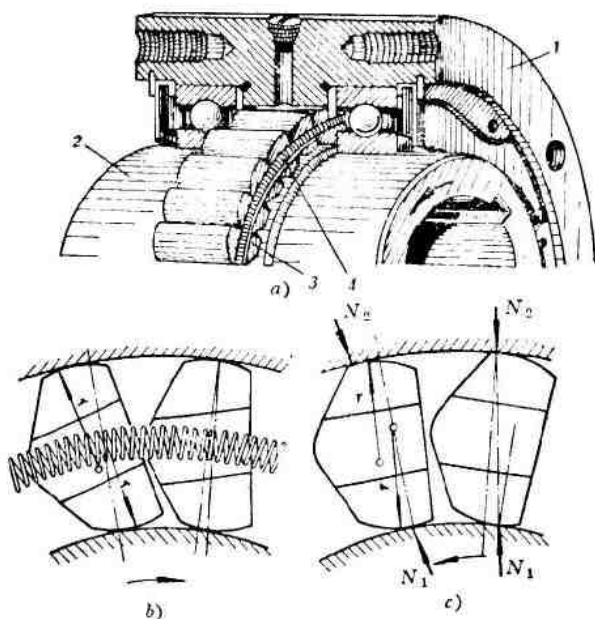


图2 滑块式自由輪(具有环形弹簧)

a)自由輪結構图; b)分离状态; c)耦合状态

1—外圈; 2—內圈; 3—滑块; 4—环形弹簧

采用环形弹簧具有下列缺点：

①在某些工作条件下，不能使全部滑块都保持在同样的位置，因此使各滑块之间的载荷分布不均匀；

②当环形弹簧损坏时，就会使大部分滑块、甚至全部滑块都失去作用。

近来也采用由薄钢带冲压成的波纹形弹簧，而且采用保持器将各滑块保持在一定的距离，并防止滑块将波纹形弹簧损坏。这种自由轮的结构如图3所示。

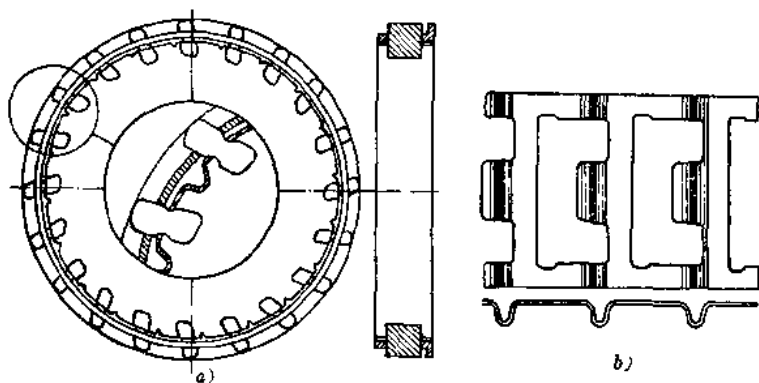


图3 滑块式自由轮（具有波纹形弹簧）

a) 自由轮简图；b) 波纹形弹簧

滑块式自由轮具有下列优点：

①内外圈的工作表面都是圆柱面，滑块也可以制成标准零件，因此使滑块式自由轮的设计，机械加工与热处理都比较容易。

②在同样外廓尺寸时，由于同时工作的滑块数目比滚子多，承受能力较大，因此滑块式自由轮能传递较大的扭矩，尤其适用于承受较高冲击载荷。

③由于滑块工作表面的曲率半径也比滚子大，因此滑块式自由轮中滑块与内外圈之间的接触应力较低，使用寿命较长。

但是滑块式自由輪也具有下列缺点：

①滑块的形状比較复杂，制造时比滾子費工得多；

②在分离状态时，由于滑块并不能轉动(而滾子却能轉动)，因此摩擦損失較大，并且使滑块表面可能局部磨損成小平面。

目前滑块式自由輪也开始广泛采用于較重要的机构中，頗有发展前途，在某些机构(如自动变速器和液力机械式传动系)中有代替滾子式自由輪的趋势。



图 4 綜合式自由輪

(4) 綜合式自由輪 (图4)

在这种自由輪机构中既有滾子又有滑块，滾子与滑块依次交替地排列。由于内外圈工作表面都是圓柱面，所以滾子并不能起楔紧作用，而只能起支承作用，所以实际上这是一种滑块式自由輪和滾子軸承的联合結構。

(5) 楔式自由輪

以上各种摩擦式自由輪的共同缺点是由于楔紧元件(滾子、滾珠或滑块)与内外圈接触处有很高的表面接触应力，使各元件容易损坏。在苏联汽車和汽車发动机科学研究所(ВИАМ)所設計与試驗的楔式自由輪中，利用楔作为楔紧元件，将线或点接触改为面接触，就可以避免上列缺点⁽⁶⁾(本文不另介紹)。

2. 啮合式自由輪

这种自由輪是利用各元件工作表面之間的法向压力来传递扭矩的。

根据元件結構的不同，啮合式自由輪又可以分为棘輪式与牙嵌式两种。

(1) 棘輪式自由輪 这种自由輪是利用棘輪与棘爪的单向啮合性质来传递扭矩的(图5, a)。

棘爪2由棘爪彈簧3压向棘輪1。当棘輪1(主动元件)順时針方向旋轉时，由棘輪1与棘爪2之間的法向压力将扭矩传到外圈4(从动元件)去，自由輪就处于接合状态。当棘輪反时針

方向旋轉时，棘爪 2 就在棘輪 1 的斜面上滑动（克服了棘爪彈簧 3 的压力），于是自由輪就处于分离状态。

（2）牙嵌式自由輪 这种自由輪是利用两个牙嵌盘之間单向嚙合性质来传递扭矩的（图 5, b）。

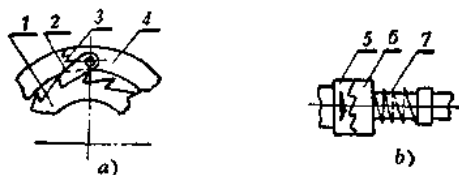


图 5 嚙合式自由輪

a) 棘輪式; b) 牙嵌式

1—棘輪; 2—棘爪; 3—棘爪彈簧; 4—外圈; 5—主动牙嵌盘; 6—从动牙嵌盘; 7—压紧彈簧

当主动牙嵌盘 5 順时針方向（从右向左看时）旋轉时，由主动牙嵌盘 5 与从动牙嵌盘 6 牙嵌之間的法向压力将扭矩传给从动軸，自由輪就处于接合状态。当主动牙嵌盘 5 反时針方向旋轉时，从动牙嵌盘 6 就在主动牙嵌盘 5 的斜面上滑动（克服了压紧彈簧 7 的压力），于是自由輪就处于分离状态。

嚙合式自由輪具有下列优点：

- ①工作可靠；
- ②在接触表面上的法向压力較小（与摩擦式自由輪比較），因此尺寸較小。

但是，它的主要缺点是：

①在分离状态时，棘爪在棘輪上的跳动或者两个牙嵌盘之間的跳动引起很响的噪音；

②接合过程比較猛烈，因而产生冲击，容易磨損。

因此，嚙合式自由輪只宜用于内外圈相对轉速較低的传动，应用較有限。

三、汽車与拖拉机传动系中自由輪的应用实例

在汽車与拖拉机传动系中广泛采用自由輪，其中有些自由輪

是起单向鎖定的作用（如在綜合式液力传动、行星式变速器和行星式增扭器中），而有些是起单向传动的作用（如在自由輪式变速器和自动超速传动中）。最常用的自由輪型式是滚子式，其次是滑块式，而較少采用棘輪式。

下面举出自由輪在汽車与拖拉机传动系中的应用的几个实例加以說明。

1. 在汽車与拖拉机液力传动中的应用

为了改善液力变扭器的工作特性，目前采用了綜合式液力传动。

在綜合式液力传动（图6）中，导輪 3 不是固定在液力变扭器壳体上，而是装在一个滚子式自由輪 4 上。当渦輪 2 的轉速 n_2 低时，或变扭系数 $K = \frac{M_2}{M_1} > 1$ 时（式中注脚 1 代表泵輪，2 代表渦輪），液流作用在导輪叶片的正面，使自由輪处于楔紧状态，于是导輪被鎖住而保持不动；因此在这时候，綜合式液力传动

是在液力变扭器的工况下工作。

当渦輪轉速 n_2 提高到某一数值时，液流就作用在导輪叶片的背面，使自由輪处于分离状态，于是液流就使导輪自由轉动，导輪就不起作用；因此在这时候，綜合式液力传动是在液力偶合器的工况下工作（变扭系数 $K = 1$ ）。

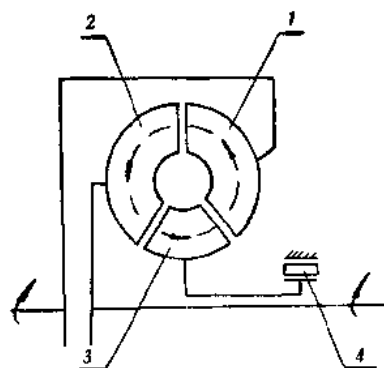


图 6 綜合式液力传动简图

1—泵輪；2—渦輪；3—导輪；4—自由輪

綜合式液力传动能将液力变扭器与液力偶合器的优点綜合起来，提高了液力传动的效率，而又避免了两者的缺点。因此目前在汽車与拖拉机液力传动中很广泛的得到采用。例如，在苏联吉

尔-111型,我国红旗牌及美国克莱斯勒牌、顺风牌、道奇牌高级小客车上所用的鲍尔弗莱脱型 (Powerflite) 液力机械传动系 (具有两个导轮, 图7⁽³⁾) 中, 和在美国万国牌 TD-24 型大功率履带式拖拉机的液力机械传动系中 (图3⁽³⁾ 中151页图63) 均得到采用。

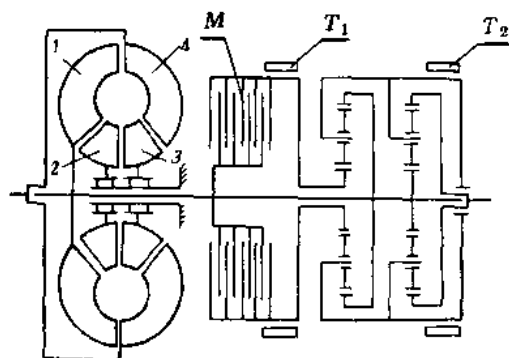


图 7 鲍尔弗莱脱型液力机械传动系

1—泵轮；2、3—导轮（装在自由轮上）；4—泵轮；
M—摩擦离合器； T_1 、 T_2 —带式制动器

各档的操纵方法

档 位	M	T_1	T_2	传动比
低 档	-	+	-	1.72
高 档	+	-	-	1.00
倒 档	-	-	+	2.39

附注：“+”号——离合器接合或制动器制动；

“-”号——离合器分离或制动器松开。

2. 在汽车与拖拉机行星式变速器中的应用

行星传动在汽车与拖拉机传动系中应用很广泛, 它具有下列优点: ①齿轮工作可靠、耐磨性高, 因为圆周力分配在几个行星轮上; ②大部分轴承只承受零件的重量, 而不承受径向力; ③传动效率较定轴式传动高; ④传动紧凑, 没有长的轴等。行星式变

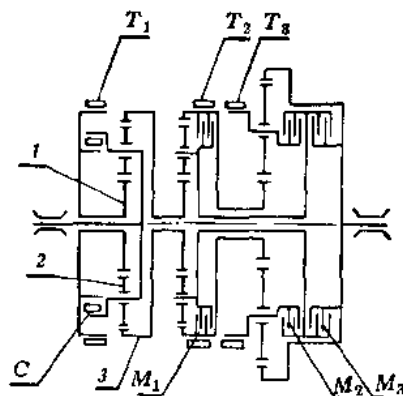


图 8 福特-631型轮式拖拉机的行星式变速器简图
 M_1, M_2, M_3 —摩擦离合器; T_1, T_2, T_3 —带式制动器; C —自由轮

各档的操纵方法

档 位	离 合 器			制 动 器			传动比 i	速 度 v (公里/小时)
	M_1	M_2	M_3	T_1	T_2	T_3		
I	-	-	+	-	-	+	10.2	1.90
II	-	+	-	-	-	+	7.05	2.80
III	-	-	+	+	-	+	6.95	2.85
IV	-	+	-	+	-	+	4.80	4.10
V	-	-	+	-	+	-	3.15	6.20
VI	-	+	-	-	+	-	2.40	8.15
VII	-	-	+	+	+	-	2.15	9.10
VIII	-	+	-	+	+	-	1.65	11.90
IX	+	+	-	-	-	-	1.00	19.60
X	+	+	-	+	-	-	0.681	28.80
倒 I	+	-	-	-	-	+	3.30	5.95
倒 II	+	-	-	+	-	+	2.25	8.70
空档	-	-	-	-	-	+		
停车	-	-	-	-	+	+		

附注: “+”号——离合器接合或制动器制动。

“-”号——离合器分离或制动器松开。

速器除了具有上列优点外，还具有操纵方便的优点，它只要用几个操纵元件（离合器或制动器）来控制行星机构中各元件的运动，就可以得到不同的传动比。因此，在汽车上有利于操纵自动化，而在拖拉机上就便于不停车换挡。

图8所示为美国福特-631型轮式拖拉机上所采用的行星式变速器⁽³⁾。

这种行星变速器由三个串联的行星齿轮组组成。由液压操纵的三个摩擦离合器 M 和带式制动器来操纵，可以得到10个前进档和二个倒档。

当制动器 T_1 制动时（Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ、Ⅹ，倒Ⅰ档），太阳齿轮1固定，因此环齿轮3的转速高于行星轮架2的转速。此时自由轮 C 处于分离状态。

当制动器 T_1 松开时（其他各档），行星轮架2的传动有使太阳齿轮1向相反方向旋转的趋势，于是使自由轮 C 处于楔紧状态，太阳齿轮1随行星轮架2转动。此时环齿轮3的转速等于行星轮架2的转速。

3. 在汽车自动超速传动中的应用

在某些小客车的变速器后面安装了自动超速传动（在超速传动中，输出轴的转速高于输入轴的转速），其中采用了自由轮，使汽车可分别得到超速传动和直接传动，而且保证在加速踏板松开时，汽车可以转为滑行。

图9所示为一种电磁操纵的自动超速传动装置简图。行星轮架1固定在轴2的花键末端。环齿轮4和超速传动输出轴5相連，并支于滚子式自由轮6上。因此，当太阳齿轮3松脱时，行星齿轮组不起作用，自由轮处于楔紧状态，扭矩由轴2经过自由轮6直接传到输出轴5，这时是直接传动。

当第二轴2的转速低于输出轴5时，自由轮6即自动分离，使汽车滑行。当挂上超速档时，太阳齿轮3被一个专门装置所止动，这样专门装置由带凹槽并和太阳齿轮相连接的止动环7及由电磁铁操纵的掣子10所组成（详细结构可参看[2]中图65），当

太阳齿轮锁住时，扭矩由轴 2 经行星轮架 1 与环齿轮 4 而传给输出轴 5，这时输出轴 5 的转速高于轴 2，自由轮 6 处于自动分离状态。

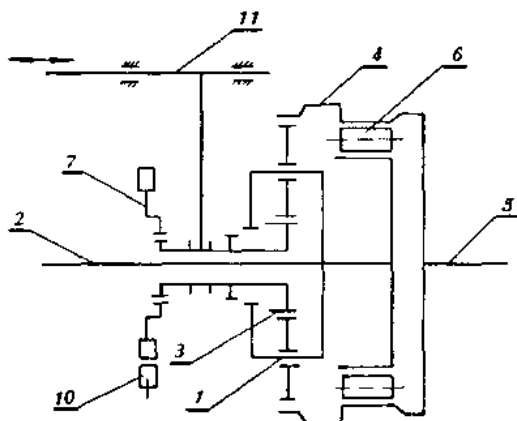


图 9 电磁操纵的自动超速传动简图

1—行星轮架；2—第二轴；3—太阳齿轮；4—环齿轮；5—超速传动输出轴；6—自由轮；7—止动环；10—掣子；11—锁住机构杠杆

当需要利用发动机制动或拖动汽车以起动发动机时，由驾驶员操纵锁住机构杠杆 11 向右，使联接太阳齿轮的轴右移，其左端与止动环 7 分离，而右端与行星轮架上的花键接合，于是行星轮架 1 与太阳齿轮 3 锁在一起，轴 2 与输出轴 5 成为刚性联接，而自由轮就不再起作用。

华纳牌 (Warner) 自动超速传动，在 1958 年生产的美国和欧洲各国小客车上采用很广泛，其具体结构可参看 [1] 中图 223 与图 224。

在汽车传动系中采用具有自由轮的超速传动，其优点如下：

①使汽车在良好道路上行驶时，可以适当的减小节流阀的开启度，而汽车仍具有较高的行驶速度，并且可以使汽车运用加速滑行的方法，来降低燃料消耗量。

②使换挡比较轻便，换挡时可不必将离合器分离，因为换挡

时汽车滑行，在自由輪后面具有巨大轉动惯量的质量自动地与变速器分离（自由輪自动地处于分离状态）。

但是采用自由輪，也会带来下列缺点：

①汽车就不能利用发动机制动，不能利用拖动汽车的方法，来起动发动机，而且不能进行倒车，因此自由輪应该可以被鎖住，自由輪的鎖住离合器是由駕駛員用操纵杆或按钮来操纵的。

②由于不能利用发动机制动，因此加重了制动器的負担，使制动摩擦片磨损增加。

③当汽车在溜滑道路上制动时，容易发生側滑的危险，因为当后輪沒有由发动机强制驱动时，在制动中就比较容易刹死，因而发生側滑。

4. 在拖拉机行星式增扭器中的应用

随着拖拉机工作速度的提高，就需要采用不停車換档机构来改善变速性能，以减小发动机储备功率，提高功率利用率和节约換档时间，从而提高拖拉机的生产率和经济性。

在拖拉机不停車換档机构中，最常用的是行星式增扭器。采用行星式增扭器，就可以从任一档不停車地換成另一与其速度比例为一定值（增扭比）的档。它的主要功用是：当拖拉机机组遇到暂时增大的行駛阻力时，利用增扭器可以不停車換档，降低拖拉机的行駛速度以克服这种阻力。

这种结构比较简单，性能方面大体可满足农业拖拉机的要求，因此在美国和苏联新型农业拖拉机上应用最广泛。

在苏联 MT3-50 型輪式拖拉机上装有九档变速器，在主离合器与变速器之間装有行星式增扭器（图10）^{〔13〕}。九档变速器的換档还是要靠分离主离合器来进行。而行星式增扭器的二个档是靠增扭器附加离合器不停車地进行換档。

当增扭器附加离合器接合时，太阳齒輪 6（与增扭器附加离合器主动盘 3 联接）与行星輪架（与增扭器附加离合器从动盘 4 联接），以同样的轉速旋轉，使变速器第一軸 7 与主离合器軸 2 的轉速相等，得到直接档（传动比 $i_1 = 1$ ），此时滾子式自由輪 5