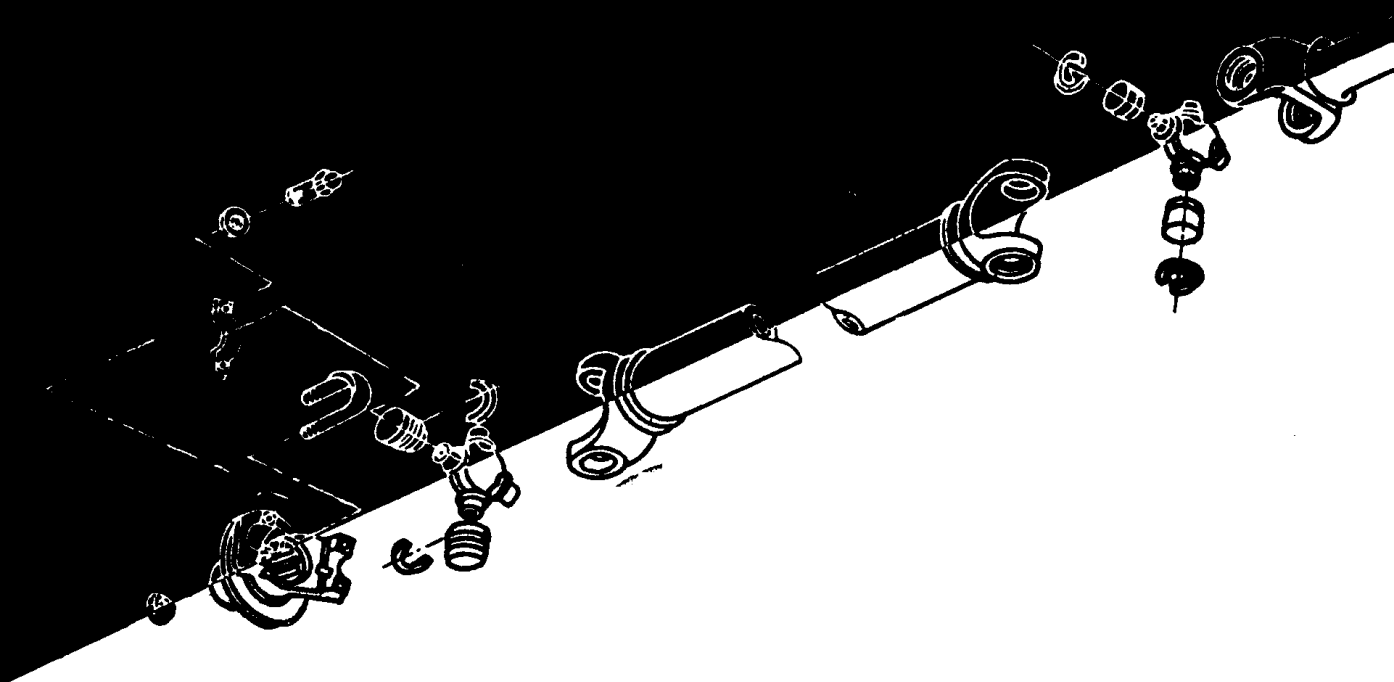


大型离心轴

符达良 编



兰州石油机械研究

大型万向轴

符达良编

江苏工业学院图书馆
藏书章

兰州石油机械研究所出版

一九七六年十月

出 版 說 明

万向轴是基础传动元件之一。随着我国社会主义建设事业的迅速发展，万向轴传动已广泛用于各个不同的机械行业，对于我们石油钻采机械方面，如钻机、修井机械等也在应用着。各机械行业在其品种和规格方面都有了很大的发展，但是，普遍存在的问题是选型不合理及工作寿命低。为了供从事这方面工作的广大工人、干部和技术人员在设计、制造和维修万向轴提供方便而出版此资料。

《大型万向轴》是针对上述问题，在学习、总结工人师傅在生产实践中的经验，并从万向轴的基础理论开始到具体的设计计算都作了简明通俗的叙述。在设计计算方面，力求做到符合制造厂的实际生产水平。并结合万向轴的设计计算，引进有关的基础元件的设计资料、表格，以便于在设计时少翻阅资料，减少设计工作的辅助时间。

本资料经西南石油学院赵国珍同志审阅，并对本文提出了很多宝贵意见，在此特表敬谢。但由于时间匆促和水平有限，错误和缺点在所难免，恳请读者批评指正。

出 版 者

一九七六年十月

目 录

第一章 万向轴概述

§ 1. 概 述	(1)
§ 2. 万向轴的结构	(1)
§ 3. 万向轴的应用	(2)
一、万向轴在汽车上的应用	(3)
二、万向轴在石油钻井设备上的应用	(7)
三、万向轴在内燃机车上的应用	(12)
四、万向轴在轧钢设备中的应用	(18)

第二章 万向轴的运动学及受力分析

§ 1. 单接头万向轴的运动分析	(19)
§ 2. 双接头万向轴的运动分析	(23)
§ 3. 万向轴受力分析计算	(24)
§ 4. 万向轴的传动效率 η	(26)

第三章 万向轴基本参数的确定

§ 1. 最大工作扭矩的确定	(28)
一、汽车用万向轴最大工作扭矩的计算	(28)
二、钻井设备用万向轴最大工作扭矩的计算	(28)
三、内燃机车用万向轴最大工作扭矩的计算	(32)

§ 2. 万向轴轉速和临界轉速的确定	(33)
一、概 述	(33)
二、单圓盤軸的临界轉速	(33)
三、均布質量的軸的临界轉速	(34)
四、万向軸临界轉速的計算公式	(35)
五、轉速安全系数	(37)
§ 3. 万向軸的軸間夾角的确定	(38)

第四章 万向轴主要零件的设计与计算

§ 1. 十字軸的設計与計算	(40)
一、十字軸的基本結構形式	(40)
二、十字軸台肩圓角的设计	(41)
三、十字軸的材料及表面处理	(43)
四、十字軸的強度計算	(45)
五、十字軸的主要工艺措施	(60)
§ 2. 万向軸支承的設計与計算	(63)
一、支承的基本結構形式	(63)
二、支承軸承的計算	(67)
1. 滾針軸承基本尺寸的确定	(67)
2. 滾子軸承最大接触应力的計算	(73)
3. 滾柱軸承的寿命計算	(74)
4. 滾子軸承計算举例	(78)
5. 塑料軸承	(80)
三、支承軸承蓋的设计与計算	(83)
§ 3. 万向軸叉头的設計与計算	(86)
壓配合叉頭	(86)
(一)叉头体的強度計算	(86)

(二)圆柱静压配合联结的计算	(88)
(三)锥度静压配合联结的计算	(91)
1.锥度静压配合的结构设计	(92)
2.锥度静压配合联结的计算	(93)
3.锥度静压配合的装拆	(95)
二、花键叉头和花键轴	(97)
(一)花键的形式	(97)
1.渐开线花键	(97)
2.矩形花键	(102)
(二)花键联结的长径比 L/D	(105)
(三)花键联结的计算	(106)
1.花键联结的扭转应力	(106)
2.花键齿的挤压应力	(107)
3.花键齿的剪切应力	(108)
(四)花键联结的表面处理	(109)
(五)花键联结的材料选择	(110)
(六)花键轴	(111)
三、叉头体的主要工艺措施	(113)
§ 4. 万向轴联接螺栓的计算	(115)
一、法兰联接螺栓的计算	(115)
二、轴承盖固定螺栓的计算	(118)
三、紧螺栓联接的防松	(122)
§ 5. 万向轴的动平衡	(123)
一、动平衡的方法及动平衡机	(124)
二、动平衡精度界限以及允许不平衡量的计算	(129)
1.动平衡的精度界限	(129)
2.平衡件允许不平衡量的计算	(129)
3.剩余不平衡量的检查	(131)
三、平衡块及平衡块的安置	(131)

§ 6. 万向轴的組装及維護保养 (133)

一、万向軸的組装 (133)

二、万向軸的維護与保养 (134)

附 录:

一、单圓盤軸的臨界轉速的計算 (136)

二、均布質量軸的臨界轉速推导 (137)

参考資料 (140)

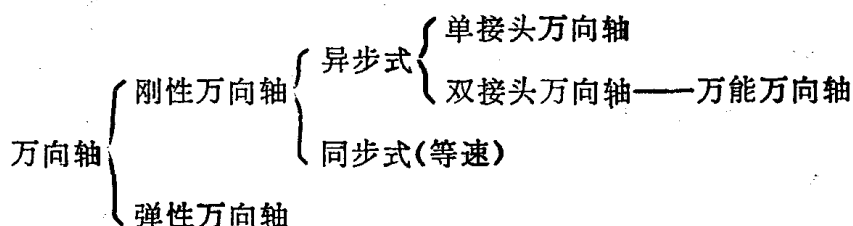
第一章 万向轴概述

§1. 概 述

万向轴是万向联轴节的简称，是用以传递相交两轴间转动的一种常见传动装置。它最大的优点是：结构紧凑、简单，维护保养方便，互换性强等等。而当两轴间夹角变动时，能正常地传递扭矩，当然对单接头万向轴来说其瞬时传动比是有所变化的。

随着我国社会主义建设事业的不断发展，在毛主席的“独立自主、自力更生”伟大方针指引下，万向轴已广泛用于各种机械设备上，特别是在汽车制造、重型轧钢设备、石油钻井设备、内燃机车、拖拉机以及机床制造上用得很普遍，其传递扭矩从几公斤一米到几万公斤一米。

万向轴的分类：



如果按传递扭矩的大小来分，可分小型及大型万向轴两类，从目前使用的万向轴类型及规格来看，刚性同步式万向轴及弹性万向轴只应用于小型万向轴中，而传递大扭矩的大型万向轴一般都采用刚性异步式，当然亦有例外。

本文着重介绍大型万向轴的设计与计算，因为这是最常用的一种，其它只作一般性的介绍。

§2. 万向轴的结构

我们以一般双接头万向轴为例，来介绍万向轴的结构（见图1—1）。

一般双接头万向轴包括法兰叉头，花键叉头，由花键轴及套管和套管叉头组成的中间轴，十字轴，滚针（或滚柱）轴承，挡圈（大型的用轴承盖），密封圈等组成。

万向轴两端的法兰叉头用6~10个螺栓分别与主、被动轴相连；中间轴一般在万向轴的长度超过1.5米时才采用焊接套管式，一般短万向轴的中间轴只是一根带一个压配合叉头的花键轴。采用焊接套管式的空心轴，一方面是为了减轻重量，另一方面是考虑到在直径相同的情况下，空心轴允许有较高的临界转速。

中间轴采用花键轴的结构，是因为万向轴除了作二根轴的角向移动外，还需作二根轴的相对轴向移动，为此在花键轴叉头头部装有油杯，以润滑花键摩擦面。

为了减少花键轴的磨损，在花键叉头端部装有防尘罩及密封圈。

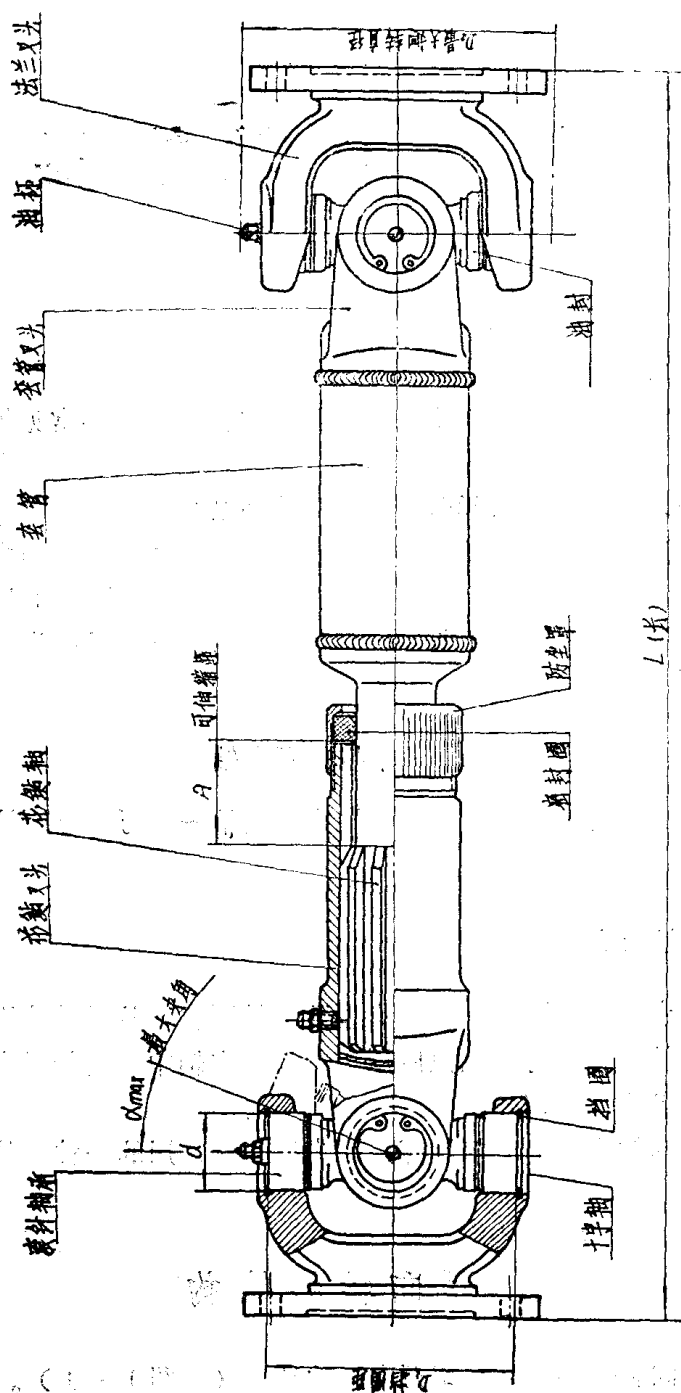


图 1-1-1 一般双接头万向轴结构图

§3. 万向軸的应用

3. 万向轴虽然在各种机器设备上广泛采用，但我们一般都熟知的是汽车上采用的小型万向轴，小型万向轴历经了较长的发展阶段已成为汽车上一种成功而可靠的传动部件。人们利用小型万向轴实践过程中积累起来的经验，设计制造了大型万向轴，并把它成功地应用到大型石油钻井设备上以及内燃机车的传动装置中。为了对万向轴的实际使用有一个全面的了解，下面分三个方面来介绍万向轴的应用实例。

二、万向轴在汽车上的应用

在汽车上差不多各个传动件之间或部件内部之传力结构都普遍采用了不同类型的万向轴，充分利用了万向轴传动可以改变其轴间夹角而不改变其传动比的这一优点。

1. 作为汽车上动力传递的万向轴，特别是在驱动桥以前的，一般都采用刚性双接头万向轴。因为这里的转速高，惯性载荷大。采用这种万向轴可使主、被动轴的转速相等，以避免产生过大的附加载荷。如图 1—2 所示一般载重汽车的变速器驱动桥之间，图 1—3 所示重型汽车的离合器到变速器之间都采用这种双接头万向轴，此外，多轴独立悬挂越野汽车的轮边传动轴亦采用这类万向轴。

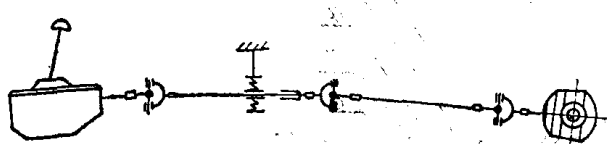


图 1—2 一般载重汽车

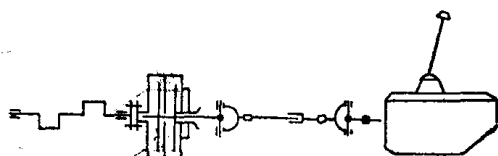


图 1—3 重型汽车

一般载重汽车由变速器到驱动桥之间的距离较长，高差亦较大，为了使万向轴有足够的临界转速和较小的夹角，中间加一个中间支承，如图 1—4 所示，它是一种带橡胶——冲压薄壳结构的中间支承。这种结构重量轻，并可减少由于车架变形对万向轴的影响。

2. 汽车上的前驱动轴一般都采用刚性同步式，即等角速万向轴，因为这里当车轮转向时，角向移动大于 30° ，在这种地方如果采用单接头式的非等速万向轴，则由于主、被动轴转速不均匀所产生的附加载荷很大。如采用双接头万向轴，则由于结构上尺寸的限制，较难实现。所谓刚性同步式万向轴，是指用一个万向节连接主、被动两轴，但又能达到等速目的的万向轴，因为这种万向轴的结构能使两轴接触传动位于两轴夹角的等分平面上，使输入角等于输出角，因此可使主、被两轴的转速相等。当然，由于结构上的困难以及制造误差，往往只能达到角速度近似相等。

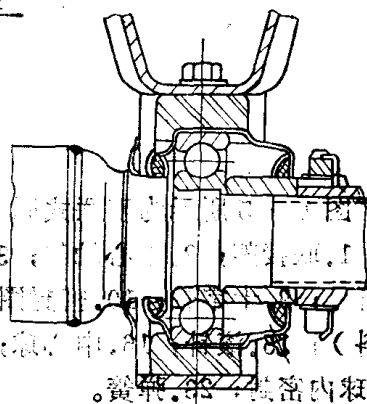


图 1—4 带橡胶——冲压薄壳结构的中间支承

同步式万向轴就其支撑的方式来讲，可分为自支撑式（一种借助于内部支撑的万向轴）和需要借助于外部支撑的万向轴两种。下面分别来介绍几种同步式万向轴。

(1) 双联式同步万向轴

最初采用的同步式万向轴是一种双联式同步万向轴，它实际上是两个单接头万向轴按等速条件组合起来的，不过中间加了一个使输入角等于输出角的分配机构，此种万向轴允许两轴

有较大的夹角，最大可达50°，但因其外型尺寸大，结构复杂，目前应用较少。但由于它具有大的轴间夹角，加之结构上的不断改进，因此国外某些车辆上仍在使用。

图 1-5 双联式同步万向轴

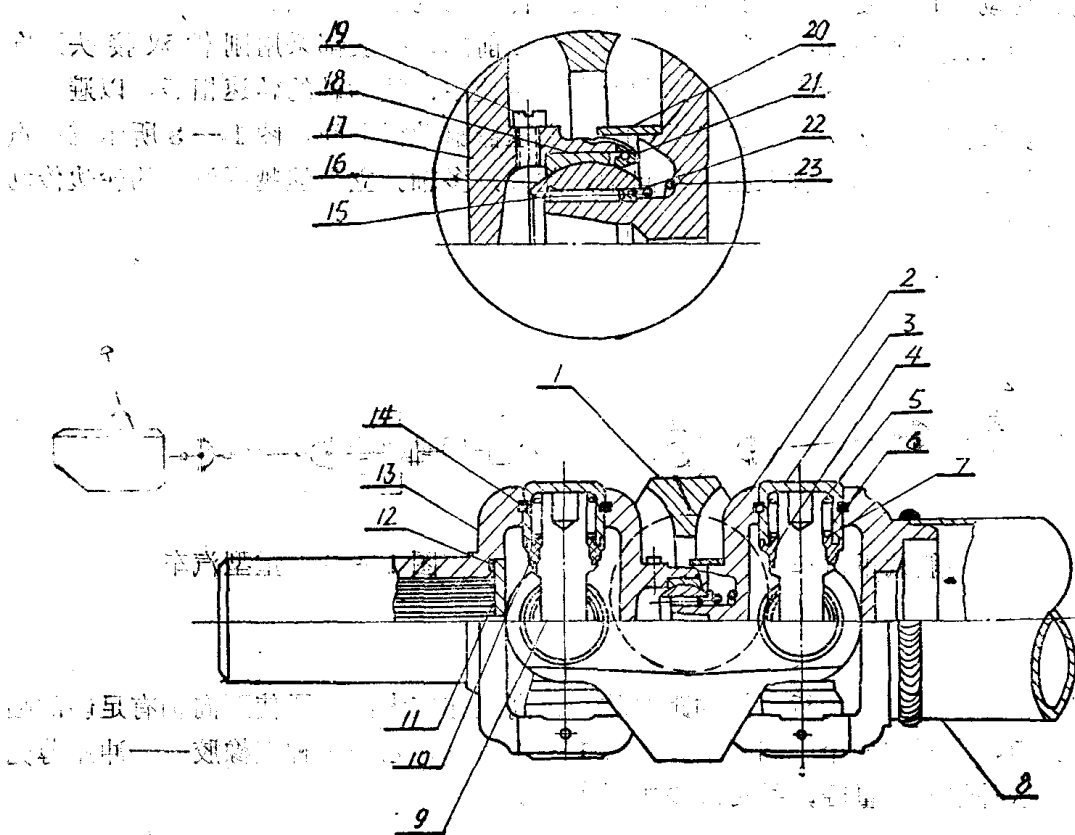


图 1—5 双联式同步万向轴

图 1—5 所示为双联式同步万向轴的结构图，这是一种内支承式带有中心球柱的结构。图中：1.联接架；2.中心轴架；3.轴承套；4.橡胶密封圈；5.滚针止推垫；6.滚针；7.密封垫；8.管轴；9.十字轴；10.密封圈架；11.堵板；12.密封垫；13.花键轴；14.轴承制动圈（喷铸塑料）；15.滚针；16.中心球；17.座架；18.球座；19.润滑塞；20.防护圈；21.球外密封；22.球内密封；23.弹簧。

(2) 球键式同步万向轴

目前汽车上广泛采用的是一种球键式同步万向轴，这种万向轴分为带分配机构和不带分配机构两种。

图 1-6 所示是一种常见的具有自支承式的球键式同步万向轴。它是不带分配机构的。为什么称它为球键式，因为钢球在轴向滚道内移动，可形成轴间角，依靠内外座圈滚道曲率中心的偏移，使传力钢球近似地分布在二轴的角平分线上，保证近似同步，同时钢球在横向又起到键的作用，传递扭矩，所以称作球键式。

图 1-6 所示的主要零件为：1. 外座圈；2. 盖；3. 密封垫；4. 润滑油杯；5. 密封罩；6. 挡环；7. 轴；8. 螺栓；9. 锁紧垫；10. 内座圈；11. 法兰；12. 笼架；13. 球；14. 密封垫。

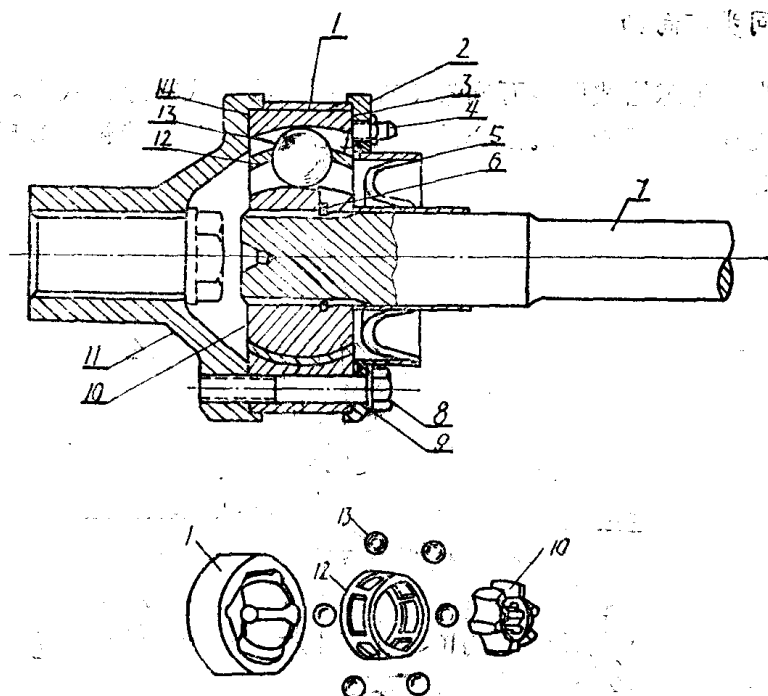


图 1—6 圆盘型球键式同步万向轴

图 1—7 所示亦是一种球键式万向轴，它与图 1—6 的结构基本相同，只不过外座圈与连接的花键轴作成了一个整体。

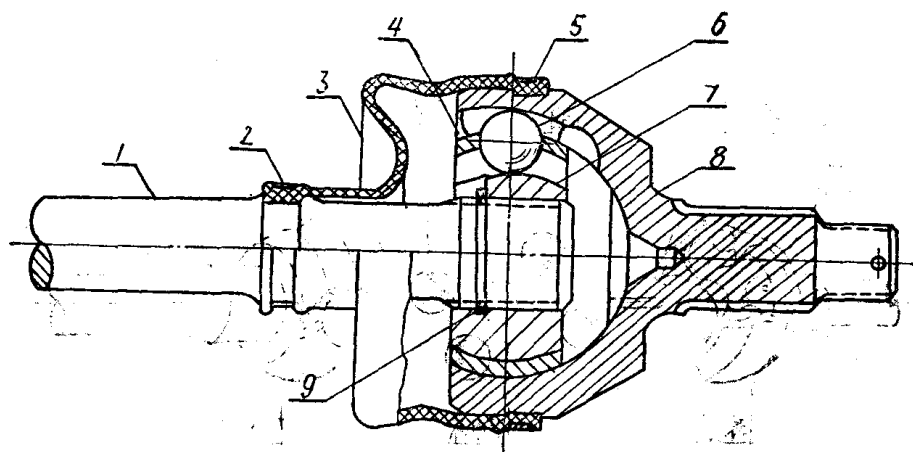


图 1—7 钟型球键式同步万向轴

图 1—7 中：1. 轴；2. 夹箍；3. 密封罩；4. 笼架；5. 夹箍；6. 球；7. 内座圈；8. 外座圈（钟式）；9. 挡环。

这种钟型球键式同步万向轴中一般用 6 个钢球，由于全部钢球都传递扭矩，故承载能力大（普通式小球键式同步万向轴中一般用 3 个钢球，由于只有 2 个钢球传递扭矩，故承载能力小），轴间夹角可在不大于 $35^{\circ} \sim 37^{\circ}$ 时正常工作，因此能得到广泛应用。

(3) 球槽式同步万向轴

图 1—8 所示为一种球槽式同步万向轴 (亦有叫曲线槽式或球叉式) 。图中: 1. 外中心架; 2. 密封圈; 3. 推力支承; 4. 球架; 5. 定心球; 6. 定心球销; 7. 保持销; 8. 球架; 9. 径向和轴向推力支承; 10. 钢球。

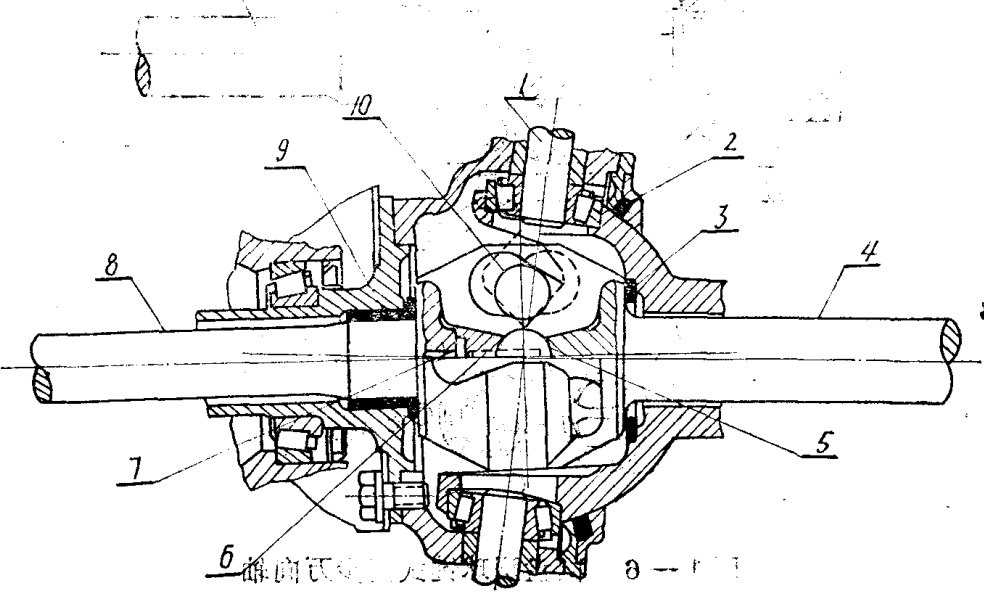


图 1—8 球槽式同步万向轴

当已圈画快长不只，同前本基付落第，一上同图，保前图以图，

万向轴球架 8 的作用力经过钢球 10 传到另一个球架 4 上，这些钢球利用球架上的内外曲线槽来保证其位置总是在两轴夹角的等分平面上，以达到主、被动轴的转速近似相等。

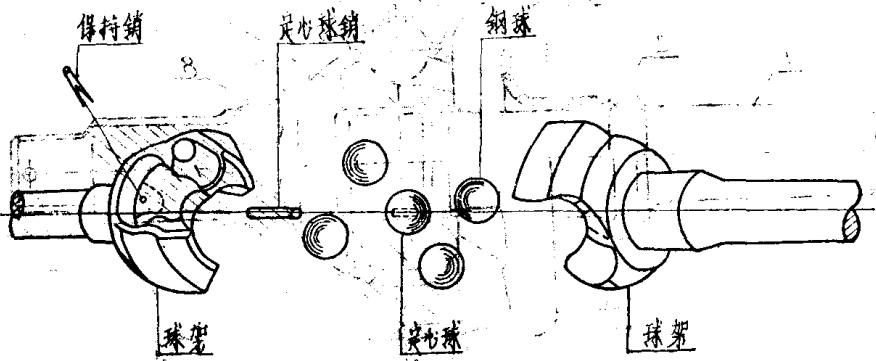


图 1—9 球槽式万向轴外形图

圈画这种万向轴可以在两轴夹角不大于 33° 时正常工作。由于传递扭矩时，两钢球对滚道的压力很大，所以磨损较快，而且易在使用中脱落。由于传递扭矩时只有一半钢球受力，故在相同外形尺寸下它的承载能力比球键式万向轴差得多。这种球槽式同步万向轴常用在中小型载重越野汽车上。

3.弹性万向轴

弹性万向轴一般只在大、小客车上采用，因为这里的间角小，弹性万向轴允许的轴间角为 $3 \sim 5^\circ$ 。采用金属套圈式（图1—11）时，允许轴间角可达 12° ，而且还能作轴向移动（20~25厘米）。

图1—10所示为常见的六角形橡胶弹性万向轴连接块。
弹性万向轴的优点是：结构简单，不用润滑，可以吸收因突然增加扭转力矩所引起的冲击负荷，减轻传动系统的扭转振动，防止共振。但缺点是允许的轴间角小，轴向位移少，对橡胶的质量的要求高，它的寿命也取决于橡胶的机械性能，因此弹性万向轴在使用上受到很大限制。

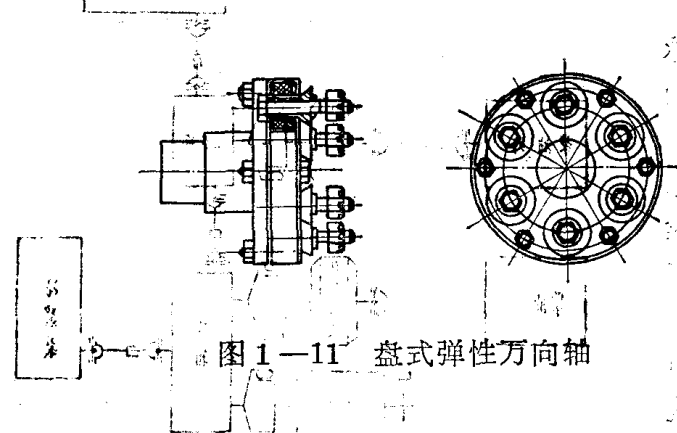


图1—11 盘式弹性万向轴

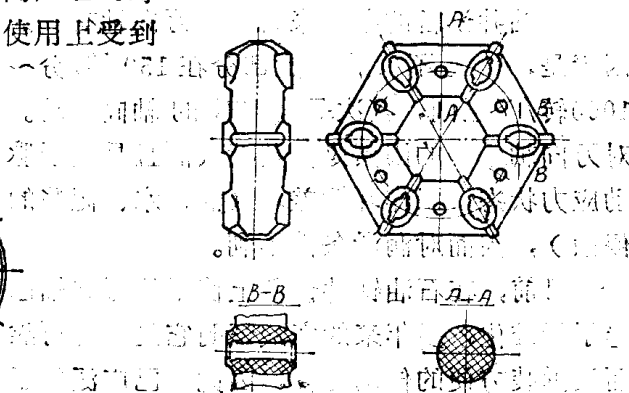


图1—10 橡胶弹性万向轴连接块

二、万向轴在石油钻井设备上的应用

近代对石油钻井设备的要求：具有大的装机功率，同时又要求移运性好，维护保养简单，拆装方便等特点。

目前，国外的石油钻机大都采用链条传动，我国广大工人和技术人员根据毛主席的教导：“**我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。**”结合我国矿区的特点，新设计钻机采用了齿轮、万向轴传动，它具有结构紧凑，传动平稳无噪音，效率高，寿命长，易于维护保养等优点。

前面叙述了在汽车上万向轴的使用情况，它的工况处在高速、中低扭矩，最大扭矩很少超过700公斤一米的。而石油钻机上，万向轴的工况一般处在中低速（一般最大不超过1500转/分）、大扭矩，由于工况不同，对万向轴的要求也截然不同。

石油钻井设备上，由于传递大扭矩，都采用刚性双接头万向轴，扭矩从600公斤一米到4600公斤一米，最大的达8000公斤一米。主要用在柴油机与涡轮变矩器之间，传动箱之间的并车以及驱动泥浆泵和转盘等。

双接头万向轴传动的基本排列形式有两种，如图1—12所示：（a）Z形排列，（b）W形排列。

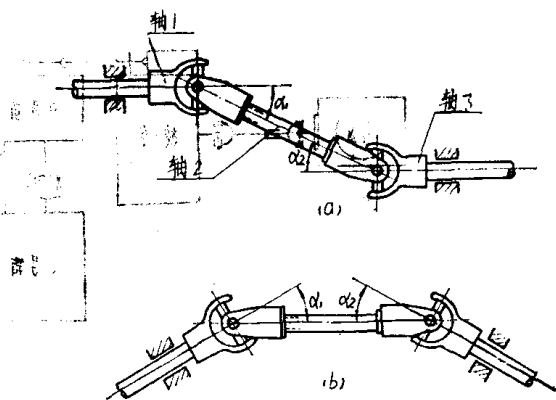


图1—12 万向轴传动的基本排列形式
(a) Z形排列。 (b) W形排列。

但无论采取那一种形式，要达到主、被动轴瞬时转速相等的目的，必须满足下列要求（详细在第二章叙述）：

- （1）中间轴 2 两端的叉头必须在同一平面内；
 - （2）万向轴的轴间角 α_1 和 α_2 必须相同，也就是说，对 z 形排列，则要求轴 1 与轴 3 平行（在纸平面内）；对 w 形排列，则要求轴 1 与轴 3 在同一个平面内相交于一点。
- 在钻井设备上，一般都采用平直形式的传动，只有驱动转盘，采用 z 形排列，轴间角 α ，一般在 $8 \sim 12^\circ$ 之间。当然所谓的平直传动也只是相对的平直，实际上由于安装的误差，往往 α_1 与 α_2 数值不能完全一致（一般在 $0.5^\circ \sim 3^\circ$ 之间）。

就钻井设备的条件来看，对万向轴有利的因素是，转速不太高，大部分在 150 转/分~1000 转/分之间，其次是无相对的轴向移动。对万向轴不利的因素是：负荷大而且是处于脉动应力状态，工作环境差，（油、水、泥浆的侵蚀），因而对润滑条件不利。

目前，在石油钻井设备上使用的万向轴已趋于标准化，多年来的实践证明它是一种可靠而又拆装方便的传动元件，因此，已广泛用于各种类型的石油钻机。

图 1—13，1—14，1—15 所示为我国自行设计、制造的 75 钻机及 130 钻机的传动系统示意图。

在钻井设备上，因井台与机房的距离较大，高差亦大，采用万向轴驱动转盘基本有二种形式，一种是采用单一的长万向轴，例如图 1—15 所示，这种万向轴有 4 米多长，轴间角达 12° 。优点是安装使用上都比较方便，但工作寿命较低。

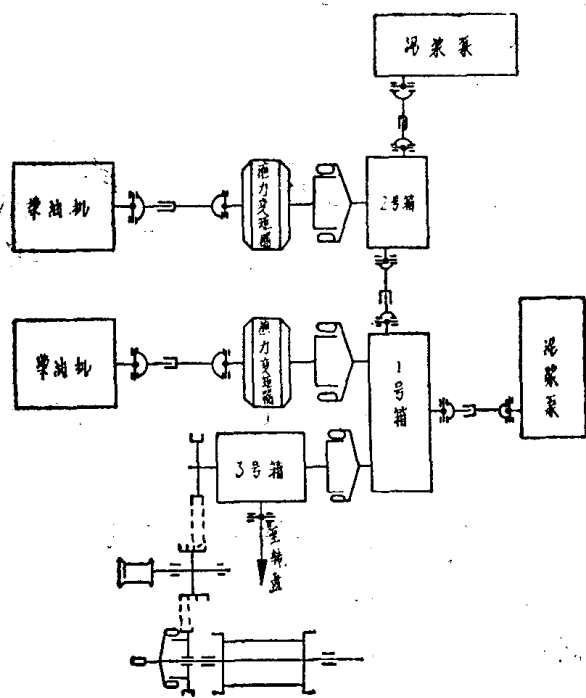


图 1—14 ZJ₁₂—130 钻机传动示意图

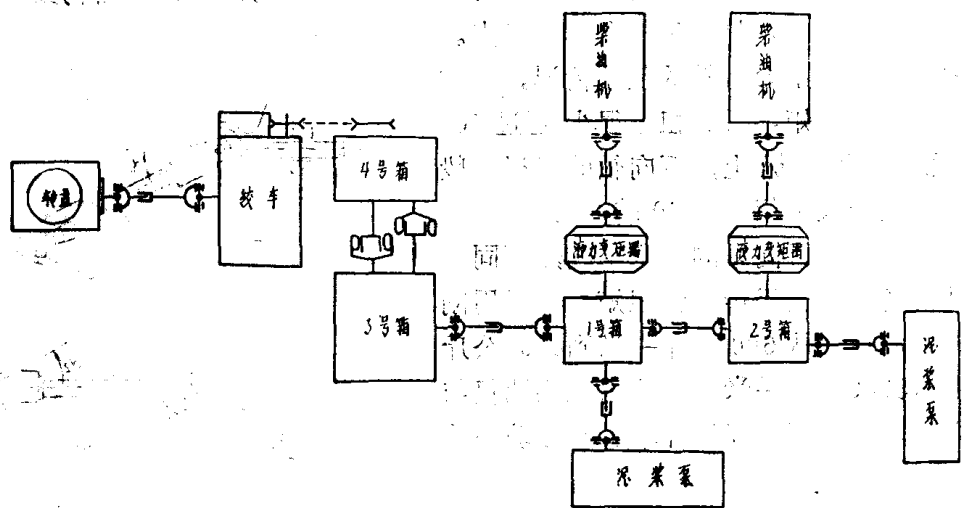


图 1—13 75 钻机传动示意图

又一种是采用有中间支承的长万向轴。如图 1—16, 1—17 所示。图 1—16 是 ZJ₁₂—130 钻机早期采用的结构, (但实际上是一种类似于用二根万向轴联接起来的传动形式), 这种结构在安装上困难, 特别是中间支承是固定在上, 因此固定不便, 加之原设计中间支承的梁刚性差, 万向轴在运转过程中偏摆、振动较大, 容易发生故障。

图 1—17 是罗马尼亚 F—100 钻机驱动转盘的示意图, 它采用了二根万向轴加一个中间过渡轴的办法来实现转盘的长边驱动。

此处还有采用中间轴过渡的平直传动形式, 如图 1—18 所示为 Z—3500 钻机的驱动转盘示意图。这种形式虽然改善了万向轴的工作条件, 但传动副增多, 倒车箱在绞车底下, 维修不便 (失去了采用万向轴简单、可靠的优点)。

比较起来还是用图 1—15 的形式为好, 因为从钻井工艺的要求来讲它做到了绞车与转盘的分别传动, 这样司钻无论在操作、处理事故或维修上都比较方便。它的缺点是万向轴长度长, 轴间角大, 由于安装误差不太可能做到 $\alpha_1 = \alpha_2$, 因此附加载荷大。但是传动转盘的这根万向轴转速低, 只有 180 ~ 640 转/分左右, 轴间角虽大, 但还在允许的范围内, 加上适当增长花键的定位长度, 提高零件的制造和动平衡的质量就能做到安全可靠的工作。因此, 钻井设备上采用长万向轴来传动转盘, 是一种比较理想的方案。

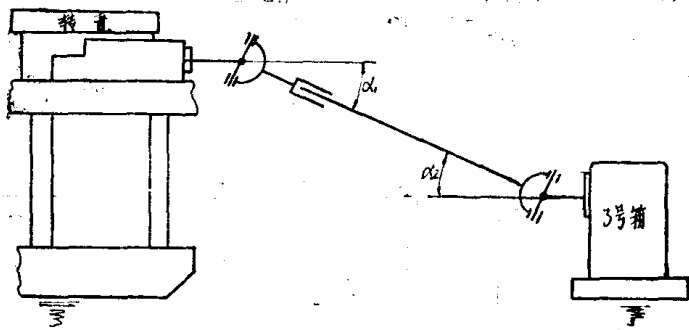


图 1—15 ZJ₁₂—130 钻机驱动转盘示意图

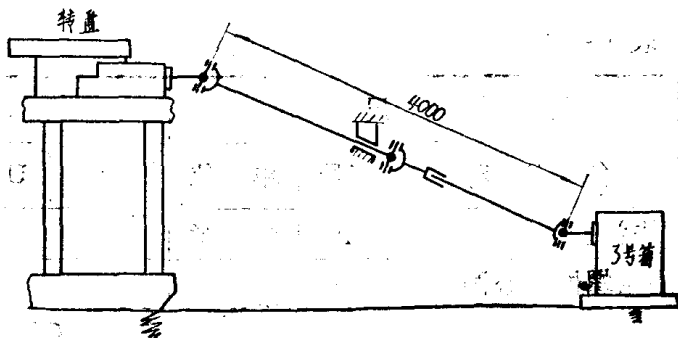


图 1—16 ZJ₁₂—130 钻机驱动转盘示意图

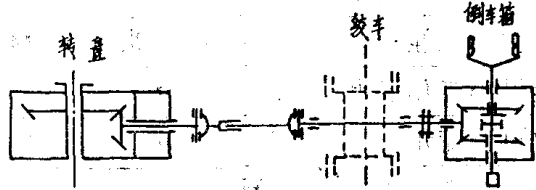


图 1—18 Z—3500 钻机驱动转盘示意图

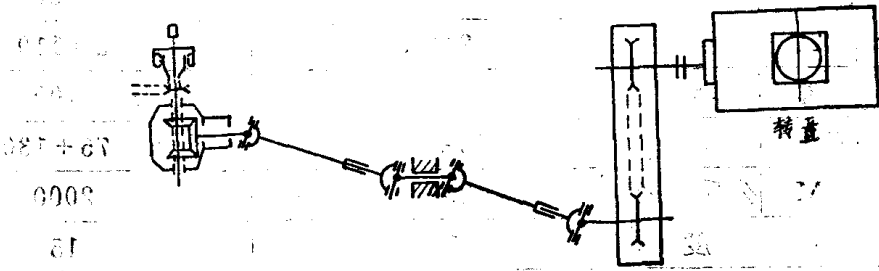


图 1—17 F—100 钻机驱动转盘示意图

下面介绍石油钻井设备上常用的两种类型的万向轴。图 1—19 所示的万向轴是采用整体叉头滚针轴承的结构其尺寸及性能见表 1—1。

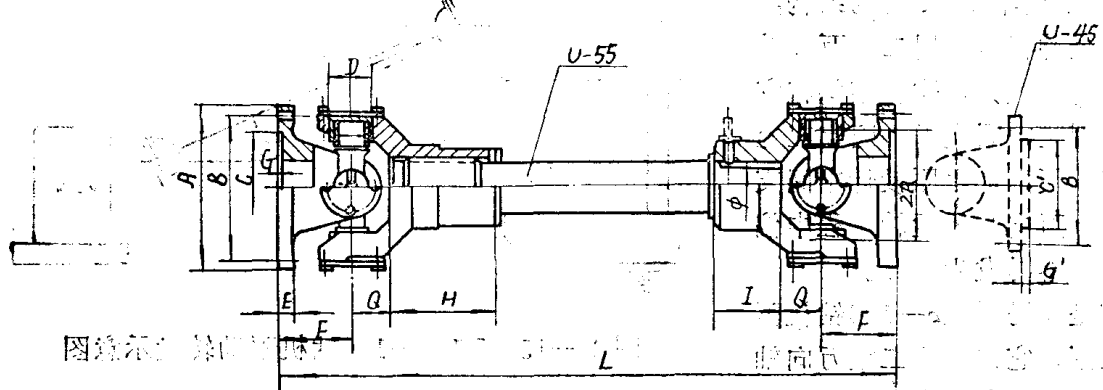


图 1—19 万向轴

表 1—1

主 要 尺 寸			万 向 轴 型 号	
名 称	符 号	单 位	U—45	U—55
法兰直径	A	毫 米	240	310
法兰螺栓中心圆直径	B	"	200	270
配合台肩尺寸	C	"	$C' = 160d_4$	$205 D_4$
	G	"	$G' = 6$	7
法 兰 厚	E	"	20	30
法 兰 高	F	"	110	140
法兰联接螺栓数目	Z	个	6	8
法兰联接螺栓规格	d_1	毫 米	$M16 \times 1.5 \quad l = 65$	$M20 \times 1.5 \quad l = 80$
花键最小工作长度	l	"	120	190
花键可伸缩矩	S	"	20	20
花键叉头高	Q + H	"	$65 + 165$	$75 + 215$
花键规格			$6D + 90 \frac{D}{d_c} \times 80 \frac{D_4}{d_7} \times 20 \frac{D_c}{d_{c1}}$	$10D + 110 \frac{D}{d_c} \times 100 \frac{D_4}{d_7} \times 16 \frac{D_c}{d_{c1}}$
十字轴轴颈	d	毫 米	45	55
轴承外径	D	"	65	80
轴承中心矩	2R	"	2×78	2×110
压配合直径	ϕ	"	80	100
压配合叉头高	Q + I	"	$65 + 125$	$75 + 130$
最大工作扭矩	M	公斤—米	800	2000
轴 间 角	α	度	15°	15°
长 度	L	毫 米	705, 870, 1560	830, 1000, 1400