

QICHE ZHUANFASHI DONGLI  
ZHUANXIANGQI DE SHEJI YU YINGYONG

汽车转阀式动力  
转向器的设计与应用

毕大宁 编著

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书着重介绍循环球结构的整体转阀式动力转向器的设计方法、性能预测、试验方法、装配调整和在整车上的匹配设计,可供汽车设计、制造人员参考使用。

## 前 言

近年来随着我国汽车工业的迅猛发展,作为汽车的重要安全件——汽车转向器的生产水平也有了很大提高。在汽车转向器生产行业里,70年代推广了循环球转向器,80年代开发和推广了循环球变传动比转向器,对提高我国汽车转向轻便性水平起了很大的推动作用。到了90年代,驾驶员对汽车转向性能的要求有了进一步的提高,要求转向更轻便、操纵更灵敏。过去采用循环球转向器和循环球变比转向器只能相对的解决转向轻便性和操纵灵敏性问题,要想从根本上解决这两个问题只有安装动力转向器。因此,除重型汽车和高档轿车早已安装动力转向器外,近年来在中型货车、豪华客车及中档轿车上都已开始安装动力转向器。随着动力转向器技术水平的提高、生产规模的扩大和市场的需要,其它一些车型也必将陆续安装动力转向器。

目前国内这些车型和国外同类汽车的发展趋势一样,都采用了整体式动力转向器。除轿车全部采用了齿轮齿条整体式动力转向器外,其它车型大都采用循环球整体式动力转向器。在这些动力转向器中,其控制阀也由过去广泛采用的滑阀式结构几乎全部改为转阀式结构。

本书着重介绍循环球结构的整体转阀式动力转向器的设计方法、性能预测、试验方法、装配调整和在整车上的匹配设计。

作 者

# 目 录

第一章 转阀式动力转向器概论.....	1
第一节 结构特点.....	1
第二节 设计要求.....	3
第三节 作用原理.....	8
第二章 选型与设计 .....	12
第一节 参数的确定 .....	12
第二节 结构的确定 .....	16
第三章 性能计算与预测 .....	41
第四章 强度计算 .....	51
第五章 试验方法 .....	54
第六章 装配与调整 .....	60
第七章 在整车上的匹配设计 .....	65

# 第一章 转阀式动力转向器概论

## 第一节 结构特点

转阀式动力转向器属整体式动力转向器的一种,是整体式动力转向器的最新结构,代表着整体式动力转向器的发展方向。

这种动力转向器的结构主要由机械部分和液压部分组成。其机械部分与循环球机械转向器基本一样,由壳体、循环球螺杆螺母部分、齿条齿扇部分、侧盖及调整螺栓等组成。其液压部分由控制阀、油缸及活塞等主要件组成。

在这种动力转向器中,壳体是承受高压的,最大工作压力已达 15MPa,壳体上部又作为油缸的缸筒。在控制阀部分,阀体又作为转向器上盖用,转向轴同时又作为转阀的阀芯,二者之间是阀套。转向轴与螺杆由扭杆连接。螺母和齿条是一体的,同时又起活塞的作用。齿扇与齿扇轴仍为一体,同时又作为动力转向器输出力矩传力件,所以比一般机械转向器齿扇轴直径加大。这类动力转向器中主要件的结构类似,但不同动力转向器在结构上又各有特点。

图 1 显示一个典型的转阀式动力转向器的结构。它的特点是铝合金壳体加缸套结构,转阀为标准型钢阀整体式结构,阀的轴向定位靠壳体下部调整螺栓支撑。侧盖采用了钢丝挡圈限位结构。

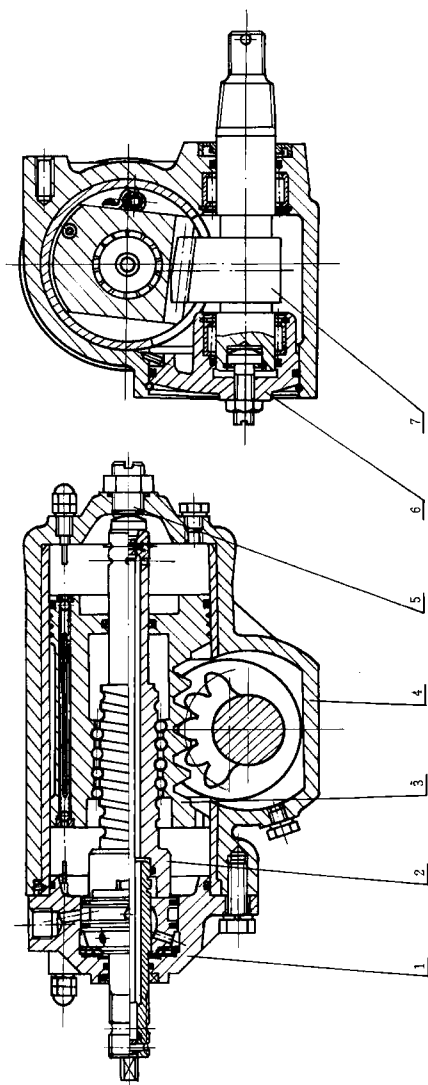


图 1 典型转阀式动力转向器  
 1-控制阀; 2-螺杆; 3-齿条活塞(螺母); 4-壳体; 5-调整螺栓; 6-侧盖; 7-齿扇轴

## 第二节 设计要求

转阀式动力转向器的设计必须能达到以下 8 个方面的要求：

### 1. 为用户提供不同要求的转向手力特性

动力转向器的性能一般用转向手力特性表示，即转向手力与输出载荷(用工作压力代表)的关系曲线。

典型的转向手力特性曲线如图 2 所示。该曲线表示了动力转向器随着转向手力增加输出载荷增大的不同情况。在低输入手力和高输入手力时，两者输出载荷增加的速度显然是不同的。设计时要求在直线行驶位置附近，由于转向阻力较小，希望外助力作用增加的小些，机械转向的程度相对大些，使驾驶员在此范围小角度转向时对地面阻力变化的感觉更直接一些。在大角度转向时，此时转向阻力较大，希望外助力大些，使驾驶员转向轻便些，即此时输出载荷明显增加。

如图 2 所示，应把典型转向手力特性曲线划分为四个区间。A

区即直线行驶位置附近小角度转向区，该区间输出载荷增加的较小；B 区属常用转向区，该区间动力转向器助力作用增长明显，对整车转向性能有较大影响。需要通过调整各结构参数满足不同驾

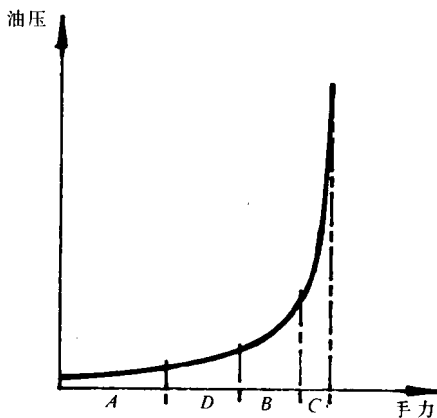


图 2 典型转向手力特性曲线

驶员对不同车型转向性能的不同要求。车型不同该区间的位  
置也不同,一般在转向轮内轮转角  $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$  之间,相当于转向  
手力在最大手力的  $20\%\sim 30\%$  之间, C 区为最大转角区,接  
近于原地转向情况,此时转向阻力最大,需要输出载荷迅速增  
大实现较大的助力作用;介于 A 区和 B 区之间的区间为临界  
转换区——D 区,它是汽车从直线行驶位置附近小角度转向  
向快速转向的过渡区,它的大小由阀的预开间隙、扭杆回位力  
等参数决定,该区对开始助力转向的效果影响较大,不容忽  
略。

转向手力特性直接决定该动力转向器的“路感”。所谓“路  
感”就是驾驶员在实现转向动作的同时,通过转向器获得对路  
面状况和阻力变化的直接感觉。这种感觉是驾驶员在驾驶车  
辆过程中不可缺少的。“路感”的获得是通过转向器实现的,所  
以路感的大小与转向器特别是动力转向器的结构有直接关  
系。“路感”的大小通常用常用转向区路感强度值来表示。

路感强度的定义为转向手力增加单位值时相应输出载荷  
的变化量。一般推荐用转向手力特性中相当于  $1/4$  最大载荷  
点的斜率来代表,用  $E$  表示路感强度(图 3)。

$$E = \Delta p / \Delta F = dp / dF \quad (1)$$

在转阀式动力转向器的设计中,要根据用户的需要调整  
不同的转向手力特性,可以通过改变扭杆的刚度和改变转阀  
刃口的过流面积来调整转向手力特性供用户选用。扭杆刚度  
的变化可以用改变扭杆直径和长度的办法实现,改变刃口过  
流面积可以用改变阀预开间隙和改变刃口切口形状和尺寸来  
实现。进行不同的调整方式可以得出不同的转向手力特性,按  
前述方法分析和计算可以得出不同的路感强度大小。

## 2. 提高动力转向器单位质量输出扭矩

动力转向器的单位质量输出扭矩是整体式动力转向器的



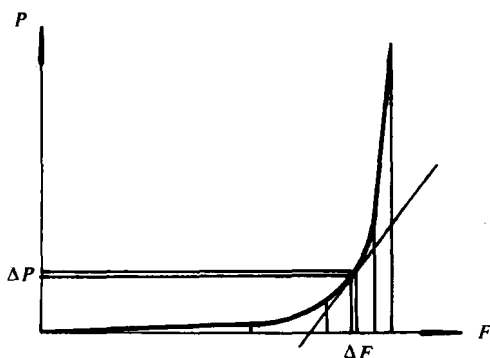


图3 路感强度图解

重要评价指标。提高单位质量输出扭矩的途径主要为减轻转向器自重和提高系统工作压力。国外的转阀式动力转向器的单位质量输出扭矩最高的已达  $160\text{N} \cdot \text{m}/\text{kg}$  以上。

减轻壳体的质量,可在保证壳体强度的前提下减薄壳体的壁厚和将壳体设计得更紧凑,再有一个办法就是改变壳体的材料,由球墨铸铁改为更轻的铝合金或镁合金。这样可以降低壳体的质量达到减轻转向器自重的目的。

简化转向器其它分总成的结构,选择合理地减少质量的结构方案,在强度允许的前提下将零部件尽量设计的小巧,亦可达到减轻转向器自重的目的。

提高系统工作压力主要靠提高油泵的工作压力和提高动力转向器各部位密封能力来实现。现在与动力转向器配套的油泵大都采用叶片式油泵,国外的叶片泵的最大工作压力已达  $15\text{MPa}$ ,而国内目前生产的叶片泵多为  $10\sim 13\text{MPa}$ 。这也是为什么国外整体式动力转向器的单位质量输出扭矩比国内高的主要原因之一。

提高转阀式动力转向器的单位质量输出扭矩可以使转向

器设计的更轻,对减轻整车自重是有利的。

### 3. 提供不同的角传动比

动力转向器角传动比的大小直接影响整车行驶的机动性,角传动比越小机动性越好。机械转向器角传动比小了增大了转向手力,动力转向器由于有了转向助力作用,使减小转向器传动比成为可能。转向器角传动比与转向器总圈数有直接关系,由于动力转向器输出角基本要求在  $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$  范围,所以由公式(2)知道角传动比小了转向器总圈数也要减少。

$$i\varphi = n \cdot 360^{\circ} \quad (2)$$

式中: $i$ ——转向器角传动比;

$\varphi$ ——转向器输出角度;

$n$ ——转向器总圈数。

根据人们的习惯,一般动力转向器总圈数应在 4.5~5.5 圈,动力转向器角传动比应在 18~22 之间。

### 4. 密封性能好,内外泄漏小

对动力转向器而言,密封性能好坏直接影响其工作性能,所以必须提高内外密封性能,不准外泄漏和沿滑动副渗油,内泄漏也必须控制在规定的范围内,越小越好。特别是在长时间使用后内泄漏也不得有明显增加,亦应在标准规定值以内。

密封性能好坏和内外泄漏大小主要与加工精度的控制、密封结构和元件设计以及密封元件本身质量有关系。前两点靠工艺和设计保证,而密封元件本身的质量是靠配套厂保证。国内现有密封元件质量问题较大。“O”形橡胶密封圈的尺寸不准确,耐油橡胶材质易老化,变形后尺寸不恢复,不能保持弹性是主要问题,带骨架油封刃口的微观裂纹废品率达 45%,造成沿滑动副密封面渗油,聚四氟乙烯密封圈弹性差,作为轴上的密封圈装配或拆卸时张开后不恢复原尺寸都是造成影响密封质量下降的重要原因。因此为解决上述质量问题,

必须选择好的密封元件配套厂,选择高质量的耐油橡胶材质;改善橡胶配方和成型工艺,保证元件尺寸,防止产生微观裂纹;对聚四氟乙烯原料进行改性或开发高质量替代产品,提高其弹性都是至关重要的。其次要保证装配时不损坏密封元件,改善装配工艺,必要时采用专门工具进行装配。

#### 5. 强度要好,寿命要长

所设计的动力转向器必须保证足够的强度和寿命。一方面从设计上保证强度,另一方面要从材料和零件加工及热处理上保证达到设计要求。这就要求提高设计水平和提高工艺水平,使我们设计和生产的新型动力转向器的水平得到提高,达到和超过国外同类产品的水平。

#### 6. 安装方便可靠

在动力转向器设计中,必须考虑安装方便和可靠。一是装拆容易,包括每个固定螺栓都容易装卸,行程限位阀容易调整。二是动力转向器本身刚性要好,特别是动力转向器输出扭矩大,这一点特别重要。对于尺寸较长的动力转向器必须考虑安装辅助支撑的位置和固定的结构。三是必须考虑与其连接的辅助件装拆方便,如转向轴连接万向节、输出摇臂和拉杆、支架等。

只有在动力转向器设计中保证安装方便和可靠,才能确保在装车使用中的可靠性。

#### 7. 成本低

在设计此类动力转向器时,必须充分考虑制造的成本。应通过对结构的合理选型,结合生产厂家的设备条件和工艺水平把制造成本控制得尽量低,这样才可能保证生产厂家的效益。

#### 8. 系列化设计

在设计此类动力转向器产品时,从一开始就要立足于系

列化设计,把产品以输出扭矩分成几档,提高产品的标准化和通用化程度。力争用较少的产品种类涵盖从轻型车到重型车各种车型,以利厂家组织生产提高效益。

### 第三节 作用原理

如图 4 所示,动力转向系统由转向油罐 1、转向油泵 2、转

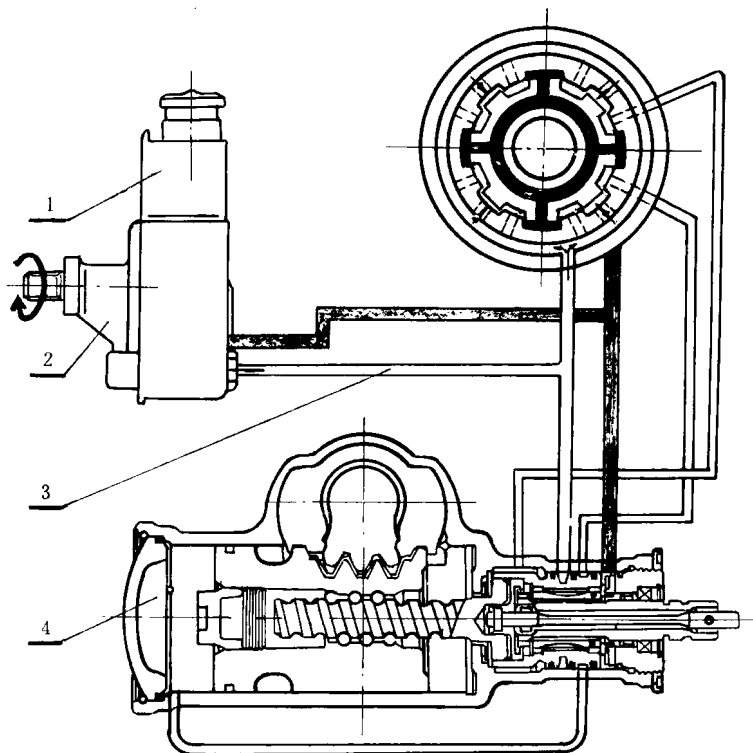


图 4 动力转向系统图

1-转向油罐;2-转向油泵;3-转向管路;4-动力转向器

向管路 3、动力转向器 4 组成。动力转向器可以是滑阀式结构的,也可以是转阀式结构的,这里主要介绍的是转阀式动力转向器的作用原理。

一般是由转向油泵不停顿的随发动机转动而工作,把油从油罐吸出向动力转向器控制阀供油。无转向动作时,控制阀处于常开中间位置,油通过控制阀直接回到转向油罐。

当转向轴输入一个转向指令时,由于转向轴(阀芯)与转向螺杆一般都是通过扭杆连接的,转向螺杆通过转向螺母(齿条活塞)、齿扇轴、摇臂、拉杆与车轮连接在一起。此时由于地面转向阻力大,所以转向螺杆以下都是不动的;转向轴(阀芯)在外力的作用下将克服扭杆弹性产生一个相对阀套的角位移,使转阀每个台肩一侧油路全开,另一侧全闭。这样油泵供来的油沿被打开的油路向油缸中相应的一腔供油。由于油是不可压缩的,充满油的一腔继续被供油就会膨胀,只有推动齿条活塞移动。而此时齿条活塞通过齿扇轴、摇臂、拉杆与车轮相连,由于地面转向阻力较大,在活塞上产生阻力阻止其移动,使该腔油压升高,直到油压在活塞一侧产生的推力足够大,超过地面转向阻力在活塞上形成的阻力后活塞开始移动,通过这些中间传力件带动车轮转向。这样的过程实际上是动态过程:即转向轴开始转动打开了油路,油泵向工作腔供油,当地面转向阻力大时活塞不动,工作腔油压就会不断增大,油压大到一定程度在活塞一侧产生的推力大到能克服车轮的转向阻力就会推动活塞带动车轮转向。车轮转向阻力减小,在活塞上产生的阻力也会减小,工作腔油压也会相应降低,降到仍能维持车轮继续转动。此时另一腔的油在活塞推动下沿回油路回到转向油罐。转向轴停止转动时,在扭杆弹性恢复力和油压力的继续作用下,阀芯和阀套回到中间常开位置,油泵供来的油不再流入任何一腔,直接回到转向油罐,直到下一次转向

动作开始又重复上述过程。所以，动力转向系统是一个典型的液压随动系统，所有的工作过程都是在动态下实现的。关于该系统阀的振动带来的影响就不在本文中讨论了，但设计者应该在设计和使用中给予重视。

图4的结构是轿车动力转向系统常用的结构。转向油泵较小，直接装在转向油罐内部，进油阻力小，节省了油管，油泵散热好，结构紧凑。

转阀的工作原理见图5。该图是一种典型的六槽式转阀

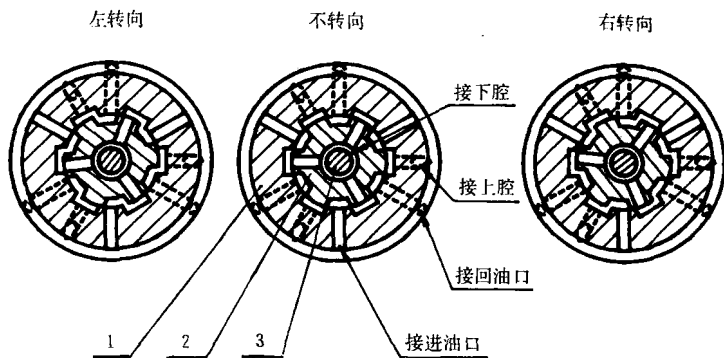


图5 转阀工作原理图

1-阀套;2-阀芯;3-扭杆

的结构，在阀套1的内孔表面有轴向盲槽（两端不通），阀芯2的外表也开有与阀套槽错开的槽，其台肩与阀套槽之间在圆周方向有一定的间隙，该间隙我们称之为这种常流式阀的预开间隙。在阀芯内部的是扭杆了。在阀套、阀芯上分布着进油孔、回油孔和到上下腔的油孔。如图所示的六槽式转阀则均匀分布各三个孔道，该结构到下腔油孔是利用阀芯内部的扭杆孔，所以在阀芯上还开有三个孔；其他结构是利用壳体上的深长孔或壳体外的外接管把油引向下腔，则这三个孔仍开在阀套上。如果是八槽式转阀则均匀分布各四个孔道。

不转向时,如图 5 中图所示,此时阀芯相对阀套处于中间位置,阀芯每个台肩相对阀套槽两侧的间隙相等,全部油道是相通的。油泵来油从进油口进入阀套通过台肩与槽之间的常开间隙经过回油口回到转向油罐。此时到上下两腔的油道也是常通的,所以不向上下两腔的任何一腔供油。

左转向时如图 5 左图所示,此时阀芯相对阀套左转,关闭了每个阀芯台肩左侧与阀套槽的间隙。油泵来油经过阀套进油口、相应阀芯台肩右侧与阀套槽之间扩大的间隙、阀芯上的孔道和阀芯内的扭杆孔全部流入壳体下腔,推动活塞起助力作用。壳体上腔的油则按相反的油路流回转向油罐。

右转向时则如图 5 右图所示,阀芯相对阀套右转,关闭了每个阀芯台肩右侧与阀套槽的间隙。油泵来油经过阀套进油口、相应阀芯台肩左侧与阀套槽之间扩大的间隙、阀套上的孔道流入壳体上腔,推动活塞起助力作用。壳体下腔的油则按相反的油路流回转向油罐。

## 第二章 选型与设计

### 第一节 参数的确定

转阀式动力转向器设计的主要参数为缸径、工作压力、输出扭矩。一般以输出扭矩为代表,不同的前轴负荷需要不同的输出扭矩的动力转向器与之匹配。输出扭矩的大小取决于油缸工作面积、油泵最大压力和扇形齿分度圆半径。对于转阀式动力转向器输出扭矩计算时应以油缸两腔中最小工作面积计算,即油缸工作面积减去螺杆外径所占的面积。

$$M = p(S_0 - S_1)R_F \quad (3)$$

式中: $M$ ——动力转向器输出扭矩(N·m)

$p$ ——油泵最大工作压力(MPa);

$S_0$ ——油缸工作面积(m<sup>2</sup>);

$S_1$ ——螺杆外径所占面积(m<sup>2</sup>);

$R_F$ ——扇形齿分度圆半径(m)。

油缸工作面积取决于油缸缸径。为使动力转向器的系列能覆盖整个车型系列,缸径的范围常用为110mm、100mm、90mm、80mm和70mm等,这也是与国家标准缸径系列推荐值,密封圈国家标准直接相关的。

油泵的最大工作压力多采用10MPa、13MPa、15MPa等,这也是目前叶片式转向油泵常用工作压力范围。

汽车转向轴负荷范围较大,从可能采用动力转向器的汽



车转向轴负荷  $8\sim 80\text{kN}$  这样大的范围,系列化产品一般需采用  $8\sim 9$  个品种的动力转向器才能满足需要。如果能用较少的机型满足需要,最好的办法是采用变更油泵最大工作压力的办法,采用  $2\sim 3$  个油泵最大工作压力,采用  $4\sim 5$  个油缸缸径,分别组合起来组成  $10\sim 12$  个品种的动力转向器组成一个产品系列。

表 1 列出了国外和国内公司典型的转阀式动力转向器产品系列参数。

从表 1 我们可以知道美国 TRW 公司最新 TAS 系列转阀式动力转向器参数情况。它由 9 个型号组成,适应前轴负荷  $12\sim 82\text{kN}$ ,其较大型号都采用了  $15\text{MPa}$  的工作压力,较小的分别采用了  $10\text{MPa}$ 、 $13\text{MPa}$  的工作压力。它的角传动比有几种可供选用,较大型号动力转向器的角传动比在  $18\sim 24$  之间,较小型号动力转向器的角传动比在 15 左右。所采用的齿扇轴直径随输出扭矩变化采用了 5 种尺寸。其输出摆角都为  $95^\circ$ ,该输出摆角较大。表中也介绍了中国东风汽车集团公司 80 年代引进的美国 TRW 公司老产品 HFB 系列的产品参数。英国 Burman 公司的 K 系列转阀式动力转向器是一个典型的采用变压力、少机型的系列。它采用了四种缸径的机型,分别采用了  $10\text{MPa}$ 、 $13.8\text{MPa}$  工作压力,有八种产品分别适应前轴负荷  $23\sim 97\text{kN}$  变化范围,因此该公司的系列化设计是较成功的。德国 ZF 公司与我国合作较早,80 年代中国重型汽车集团公司四川汽车厂引进了该公司单滑阀整体式动力转向器短型系列,但 90 年代该公司已全部生产转阀式动力转向器,如表中所示该公司转阀式动力转向器三个机型六种产品,分别采用  $13\text{MPa}$ 、 $15\text{MPa}$  工作压力,适应  $29\sim 94\text{kN}$  前轴负荷的中重型汽车使用。日本 KOYO 公司 PBS 系列的参数不全,但可看出有五个机型,缸径从  $60\sim 100\text{mm}$ 。国内目前有五