

## 31. 液压技术在其它领域中的应用

### 31.1 超高压液压技术

#### 31.1.1 概述

在液压技术领域,一般将工作压力高于 32MPa 称为超高压。在超高压范围内,目前国内、外应用最普遍的压力是 63~80MPa。在英、美、日、德和我国都已有这一压力等级的泵、阀、缸和高压软管等元件的系列产品。泵的流量大都在 0.4~10L/min; 阀的通径一般在 3~6mm。由于超高压技术的元件有一定的难度,所以目前大流量的系列产品还很少,应用得也不多。至于 100MPa 以上的超高压元件,我国和国外也有一些,但数量较少、应用面也不大。更高压力常常采用增压缸来得到。

#### 31.1.2 超高压液压技术的应用

目前,超高压液压技术主要应用在以下几个场合:

- 对压力容器、压力管道进行超高压试验。
- 由于超高压液压油源和执行元件具有重量轻、体积小、出力大等优点,并且与其它非液压工作机械相比,又具有工作平稳,噪声低等特点,因此用作一种流动的动力源和工具应用于工程施工现场,维修现场和紧急救援现场具有特殊的优越性。由此发展了各种应用超高压液压技术的液压机具。详见本章 31.4 节。
- 在一些必须要求很高压力而空间位置又受到限制的场合。例如:在轧机的轧辊轴承中,常常采用动静压轴承,最高压力可达 140MPa。

在冶金工业中,最近又推出了一项薄形轧辊,在轧辊中心充入超高压(63MPa 以上)液体,使轧辊呈微鼓形。通过压力可调整鼓形的凸度,从而可控制被轧制板材的平直度。这一新方法,减少了板型沿宽度方向厚度的不均匀。

人造金钢石的生产和地下岩层渗透试验等也应用了超高压液压技术。

#### 31.1.3 超高压液压元件的特点及产品

##### (1) 超高压液压泵

在超高压条件下,一般泵的流量比较小,必须尽量减少泄漏,提高容积效率,所以泵基本上都采用阀配流柱塞泵结构。用量最多的是用作液压机具的泵源,都

采用轴向柱塞泵或径向柱塞泵这两种形式。它可以在一种泵体上配置不同数量或者不同直径的柱塞,而形成具有不同排量的系列产品。便于泵厂成批生产和用户的选取。而且生产厂已把泵和一些基本控制阀、压力表、油箱、软管组成了一套泵组、成套供应。其动力还可按用户的需要配置电动机或汽油发动机。

##### A. BZ 型超高压泵站

表 31.3-1 所示为上海千斤顶厂生产的 BZ 型超高压液压泵站的一种系列产品,其额定压力最高的一种可达 125MPa。一套 BZ 型超高压液压泵站,主要由电动机(或汽油机)、轴向柱塞泵、安全阀(125MPa 泵无安全阀)、溢流阀、三位四通手动换向阀(也可选用电磁换向阀)、油箱等组合而成。

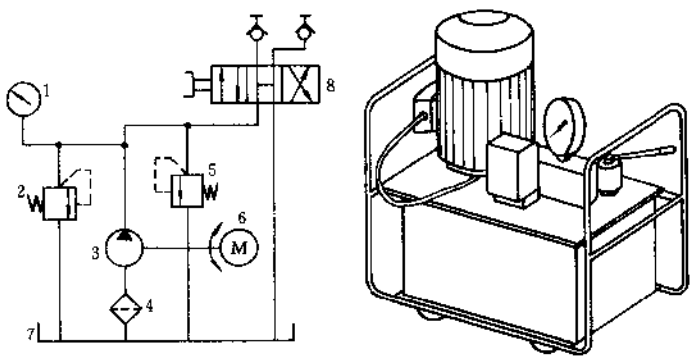
##### B. CZB6302 型超高压泵站

超高压液压泵站还常常采用高低压泵组合的形式。这样可实现低压或空载时推动液压缸快速行进,而在带负载时以很高的压力输出。泵站的总体体积和功率都可以减小,工作效率较高。图 31.1-1 为上海华光工具厂开发的一种高、低压组合的超高压液压泵站。由国家科委送展,荣获第 18 届日内瓦国际新发明展览会金牌奖。它的高压部分是一个轴向柱塞泵、低压部分是一种简易叶片泵。但叶片泵的“叶片”利用滚柱轴承中的标准滚柱来代替,效果很好。此泵的高压压力为 63MPa,流量为 0.4L/min; 低压压力为 2.5MPa,流量为 2.5L/min,泵站总质量仅 16kg,在空行程或低负载时,由高、低压两个泵同时供油。当大负载时,低压泵溢流,只有高压泵供油。

##### C. 德国 FAG 公司产超高压泵

德州液压机具厂从德国 FAG 公司引进了一个超高压径向柱塞泵系列产品,见表 31.1-2 他有 5 种直径的柱塞。采用不同数量柱塞可以组成 55 种流量的一个系列产品。最高的额定压力为 100MPa,此时最大流量为 5.29L/min(1500r/min 时)。这种径向柱塞泵的特点是,因为泵体不旋转,所以泵的输出可以是一路(由各个柱塞的排量集合在一起)也可以分几路输出。

表 31.1-1 上海千斤顶厂 BZ 型超高压液压泵站系列性能参数



1—压力表;2—安全阀;3—轴向柱塞泵;4—滤油器;5—溢流阀;6—电动机(或汽油机);7—油箱;8—三位四通换向阀

| 型 号   |       | BZ70-1     | BZ63-2.5 | BZ63-4 | BZ63-6 | BZ125-0.6  | BZ125-0.6-Q |
|-------|-------|------------|----------|--------|--------|------------|-------------|
| 额定压力  | MPa   | 70         | 63       |        |        | 125        |             |
| 流 量   | L/min | 1          | 2.5      | 4      | 6      | 0.6        |             |
| 功 率   | kW    | 1.5        | 4        | 5.5    | 7.5    | 1.5        | 3.75(汽油机)   |
| 贮 油 量 | L     | 20         | 50       |        |        | 20         |             |
| 外形尺寸  | cm    | 48×32.5×54 | 80×48×90 |        |        | 48×32.5×54 | 54.5×40×58  |
| 净 质 量 | kg    | 88         | 180      | 185    | 198    | 88         | 82          |

上述型号为典型规格,其他规格可以在压力 63, 70, 80, 100, 125MPa, 流量 1, 1.6, 2.5, 4, 6L/min 的范围内自由组合, 共有 20 余种可供用户选择。

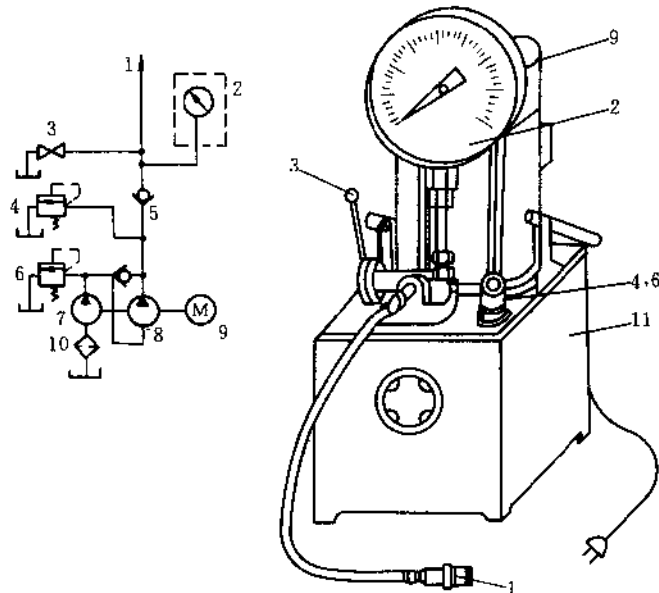


图 31.1-1 ZB6302 型超高压液压泵站  
(高低压泵组合)

表 31.1-2 德国 FAG 公司径向柱塞泵的性能参数和外形尺寸表

外形及连接尺寸

连接法兰  
进油口 T  
最大旋入长度: 15mm  
高压  
压力油口 (低压)  
90°  
45°  
22.5°  
G3/4"  
G1/4"  
M8x1.5  
φ80±0.1  
φd8  
46.318  
42.519  
42.016  
l<sub>3</sub>  
φ  
l<sub>1</sub>  
l<sub>2</sub>

| 泵平面数 | φd8 | l <sub>1</sub> | l <sub>2</sub> | l <sub>3</sub> | 连接螺<br>GB1096-79 |
|------|-----|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 单排   | 184 | 32             | 112            | 23             | 6×6×18           |
| 双排   | 185 | 54             | 139            | 34             | 6×6×28           |

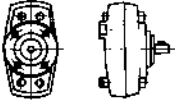
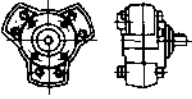

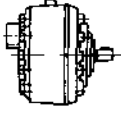
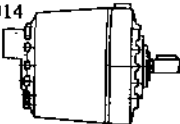
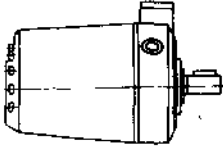
说明: 1. 法兰上 φ63 和 4 - M 8 用于泵安装连接。  
2. 在进油腔部分未充满油液之前, 不要带压启动。  
3. 上列外形及连接尺寸对本系列径向柱塞泵均适用。

| 额定工作压力/MPa   | 100(80) | 63           | 50   | 32    | 22.5  |      |
|--------------|---------|--------------|------|-------|-------|------|
| 柱塞直径/mm      | 6.5     | 8.5          | 10   | 13    | 15    |      |
| 额定转速/(r/min) | 1500    |              |      |       |       |      |
| 型式           | 柱塞数     | 理论流量/(L/min) |      |       |       |      |
| 单排           | 1       | 0.37         | 0.64 | 0.89  | 1.51  | 2    |
|              | 2       | 0.75         | 1.29 | 1.79  | 3.02  | 4    |
|              | 3       | 1.13         | 1.93 | 2.68  | 4.54  | 6    |
|              | 4       | 1.51         | 2.58 | 3.58  | 6.05  | 8    |
|              | 5       | 1.89         | 3.22 | 4.47  | 7.56  | 10   |
|              | 6       | 2.26         | 3.87 | 5.37  | 9.07  | 12   |
|              | 7       | 2.64         | 4.51 | 6.26  | 10.59 | 14.1 |
| 双排           | 8       | 3.02         | 5.16 | 7.16  | 12.1  | 16.1 |
|              | 10      | 3.78         | 6.46 | 8.95  | 15.13 | 20.1 |
|              | 12      | 4.53         | 7.75 | 10.74 | 18.15 | 24.1 |
|              | 14      | 5.29         | 9.04 | 12.53 | 21.18 | 28.2 |

注: 以上只是单流泵的指标。

D. 德国哈威公司的超高压泵 一个比较完整的径向柱塞泵系列产品,其最高工作压力  
表 31.1-3 所列为德国哈威(Hawe)公司生产的 力为 70MPa。它利用了径向柱塞泵可组合性的优点。

表 31.1-3 德国哈威公司径向柱塞泵

| 柱塞的组合形式   | 柱塞数 | 柱塞直径/mm        |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 驱动功率/kW          |                |
|---|-----|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|
|   |     | 6              | 7                 | 8               | 10              | 12              | 13              | 14              | 15              |                  | 16             |
|   |     | 最高工作压力/MPa     |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                |
|   |     | 70             | 60                | 50              | 45              | 35              | 30              | 25              | 20              |                  | 16             |
| 在 1450r/min 时的流量 $q/(L/min)$<br>刮弧内为每转排量 $V_g/(mL/r)$   |     |                |                   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                |
| 1 或 2 个柱塞<br>分组号 6010<br>      | 1   | R0,3<br>(0,21) | R0,41<br>(0,29)   | R0,5<br>(0,38)  | R0,8<br>(0,60)  | R1,2<br>(0,86)  | R1,45<br>(1,01) | R1,7<br>(1,17)  | R1,9<br>(1,34)  | R2,2<br>(1,53)   | 0,25<br>~2,2   |
|   | 2   | R0,6<br>(0,43) | R0,83<br>(0,58)   | R1,0<br>(0,76)  | R1,6<br>(1,20)  | R2,4<br>(1,72)  | R2,8<br>(2,02)  | R3,3<br>(2,34)  | R3,8<br>(2,69)  | R4,4<br>(3,06)   |                |
| 3 个柱塞<br>分组号 6010<br>         | 3   | R0,9<br>(0,64) | R1,25<br>(0,88)   | R1,5<br>(1,15)  | R2,5<br>(1,79)  | R3,6<br>(2,58)  | R4,3<br>(3,0)   | R5,1<br>(3,5)   | R5,6<br>(4,0)   | R6,5<br>(4,58)   | 0,25<br>~3     |
| 单排<br>径向柱塞泵<br>分组号 6011<br>  | 5   | R1,4<br>(1,07) | R2,08<br>(1,46)   | R2,6<br>(1,91)  | R4,2<br>(2,98)  | R6,0<br>(4,30)  | R7,0<br>(5,0)   | R8,3<br>(5,9)   | R9,5<br>(6,7)   | R10,9<br>(7,64)  | 0,55<br>~4     |
|   | 7   | R2,1<br>(1,50) | R2,9<br>(2,04)    | R3,7<br>(2,67)  | R5,8<br>(4,18)  | R8,4<br>(6,0)   | R9,8<br>(7,1)   | R11,8<br>(8,2)  | R13,3<br>(9,4)  | R15,3<br>(10,7)  | 0,55<br>~5,5   |
| 双排<br>径向柱塞泵<br>分组号 6012<br>  | 10  | R2,7<br>(2,2)  | R4,15<br>(2,92)   | R5,3<br>(3,8)   | R8,2<br>(5,97)  | R12,0<br>(8,6)  | R14,2<br>(10,1) | R16,8<br>(11,7) | R19,3<br>(13,4) | R21,7<br>(15,28) | 2,2~<br>7,5(9) |
|   | 14  | R4,0<br>(3,0)  | R5,85<br>(4,09)   | R7,4<br>(5,3)   | R11,6<br>(8,4)  | R17,0<br>(12,0) | R20,0<br>(14,1) | R23,5<br>(16,4) | R26,5<br>(18,8) | R30,4<br>(21,39) | 2,2<br>~11     |
| 4 排<br>径向柱塞泵<br>分组号 6014<br> | 20  | R6,1<br>(4,3)  | R8,35<br>(5,84)   | R11,0<br>(7,6)  | R17,4<br>(11,9) | R25,0<br>(17,2) | R30,0<br>(20,2) | R35,0<br>(23,4) | R38,0<br>(26,9) | R43,4<br>(30,56) | 5,5~<br>18,5   |
|   | 28  | R8,0<br>(6,0)  | R11,65<br>(8,18)  | R15,0<br>(10,7) | R23,0<br>(16,7) | R34,0<br>(24,1) | R40,0<br>(28,2) | R47,0<br>(32,8) | R53,0<br>(37,6) | R60,8<br>(42,78) | 5,5<br>~22     |
| 6 排<br>径向柱塞泵<br>             | 42  | R12,7<br>(9,0) | R17,45<br>(12,26) | R22,0<br>(16,0) | R34,5<br>(25,1) | R51,0<br>(36,1) | R60,0<br>(42,4) | R70,0<br>(49,1) | R80,0<br>(56,4) | R91,2<br>(64,18) | 11~<br>30      |

以不同的柱塞直径、在圆周上布置不同数量的柱塞、并且可在一个轴上并列几排柱塞,形成多种输出流量。(国内有销售代理)

较大流量的超高压液压泵主要采用曲柄式径向柱塞泵,由于其结构比较大、价格也较昂贵,主要用于大型固定设备上。

#### E. 手动超高压泵

此外应用得最多的是结构很简单的手动超高压泵,如图 31.1-2 所示。一个小型的柱塞泵 1 由手柄 2 往复推动,并有一个储油筒 3,当关闭卸油阀 4 时,摇动手柄就可输出高压油,经高压软管输入千斤顶或其

他工作缸,使千斤顶(或缸)起升,当慢慢开启卸油阀 4 时,借千斤顶活塞的自重或外力,活塞缩回,液压油返回储油筒 3。

#### (2) 超高压液压换向阀

由于超高压液压系统的流量都很小,因此应尽量减少系统和液压阀的泄漏。此外超高压系统的应用场合常常需要有保压功能,如千斤顶的顶起工况,液压扳手的工作等,这也要求换向阀没有泄漏。所以超高压液压换向阀大都采用球阀结构。在超高压领域中应用最多的是液压机具,所以手动换向阀又比电磁换向阀用得更广泛。

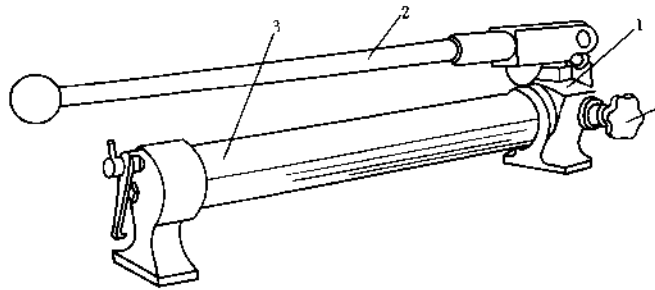


图 31.1-2 手动超高压泵

#### A. 德国 FAG 公司超高压换向阀

图 31.1-3 为德州液压机具厂引进德国 FAG 公司的 W 系列电磁、手动换向阀,它也采用了球阀结构,电磁铁 1 的推力通过杠杆 2 放大以后,推动推杆 3 和钢球 4,使钢球封闭阀座 5 上的阀口。改变推杆、钢球和阀座的结构位置和形式,可得到最基本的二位二通和二位三通的换向机能。将电磁铁换成手柄,就成了手动换向阀。

#### B. 德国哈威公司超高压换向阀

图 31.1-4 所示为德国哈威(Hawe)公司的超高压电磁换向阀三位四通球阀结构。他的特点是在一个阀体块中,用球阀的形式就完成了三位四通的功能。它是用电磁铁直接推动阀杆钢球,所以电磁铁的推力要求大,工作压力最大为 45MPa。

#### C. 德国 FAG 公司组合超高压换向阀

超高压液压换向阀由于工作压力高,因此在横向操纵上,除了必须考虑引用高压油源的力来平衡一部分推动力外,还得采用力放大机构。如果用电磁铁的推力直接驱动推杆、钢球是较困难的。从上面的例子

可以看到,采用了力放大杠杆机构,将来自力元件——电磁铁(或手动操纵柄)的作用力放大 4~5 倍。当然,这样做又使电磁铁的行程加大。但对于球阀结构而言,开启位移量要比滑阀结构小得多,因此仍可得到较好的匹配。球阀结构的缺点是不像一般高中压换向阀的滑阀结构那样,稍稍改变一下阀芯的结构,就能得到不同的机能,而是需要用不同结构的连接板,将简单功能的球阀组合成各种机能。图 31.1-5 所示是德州液压机具厂生产的引进德国 FAG 公司的 W 系列换向阀的一种组合的外形结构。

超高压液压换向阀也有一些采用滑阀形式的,但数量较少,效果欠佳,选用时尤其要注意它能否保压的性能。在手动换向阀中也有采用板式平面配流的结构。此时要仔细考虑配流板上下压力的平衡,使操纵力减小,泄漏尽量减少。其制造也比较困难。

#### (3) 超高压管接头部位的密封

一般的组合密封垫已不适用,因强度不够。目前应用最多的方法是采用经退火的紫铜垫。也有采用锥管螺纹密封的。

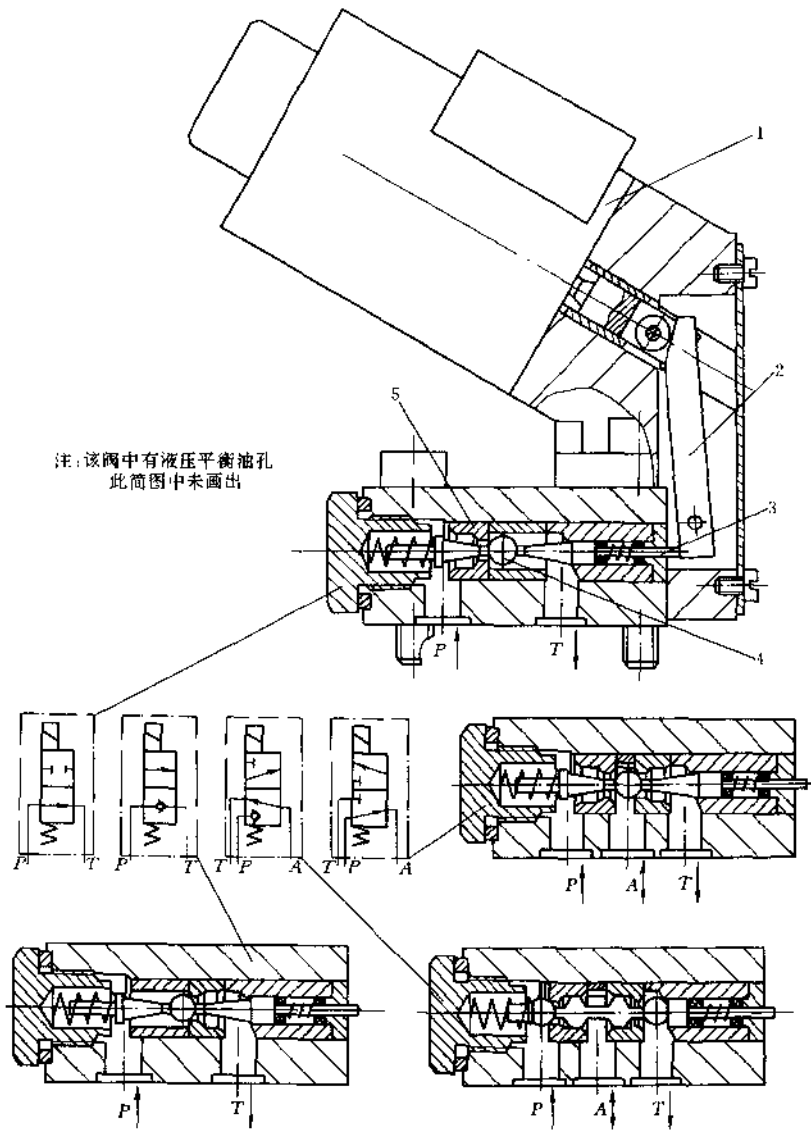


图 31.1-3 德国 FAG 公司超高压换向阀示意图

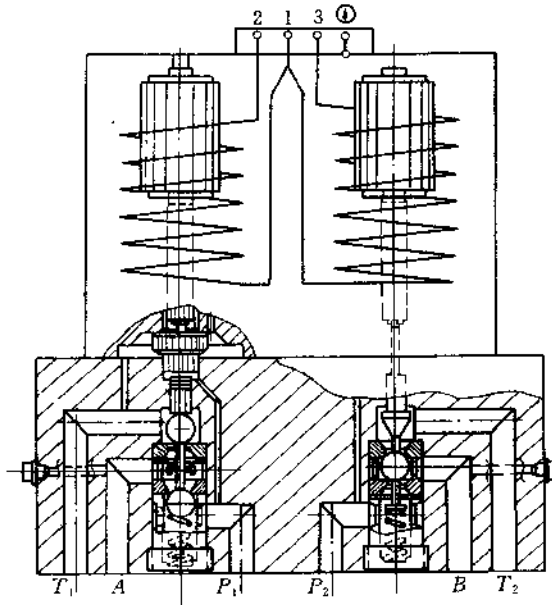


图 31.1-4 德压 Have 公司超高压电磁换向阀示意图

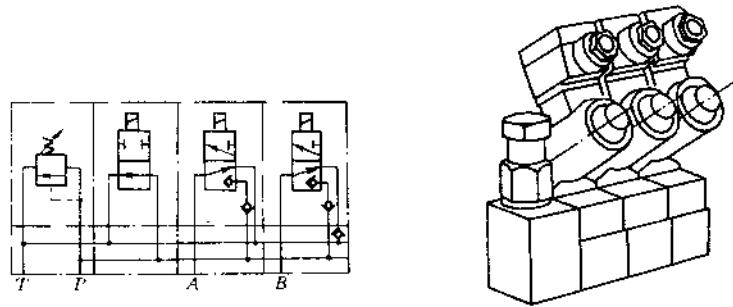


图 31.1-5 德州液压机具厂生产的 W 系列组合超高压换向阀外形图

### 31.2 液压机具

由于液压机具要求重量轻、结构小巧、出力大,因此大多采用超高压液压技术,而且应用场合越来越扩大,尤其是在工程施工、军事工业、交通运输以及各种现场维修、抢险救援场合更体现出它的优越性而得到广泛的应用。因为液压机具种类繁多,以下只对应用较多并有特色的几种机具进行简介。

#### 31.2.1 液压千斤顶

这是应用得非常普遍的一种液压机具,每一辆汽车都备有一个千斤顶,用作临时维修之用,而现代绝大多数是用液压千斤顶。图 31.2-1 是上海千斤顶厂生产的,在国内机场广泛应用于民用飞机更换轮胎用的

一种千斤顶,它已应用于麦道、波音等大型民航客机。

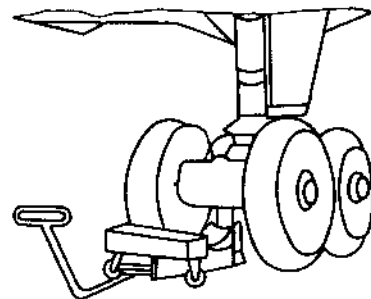


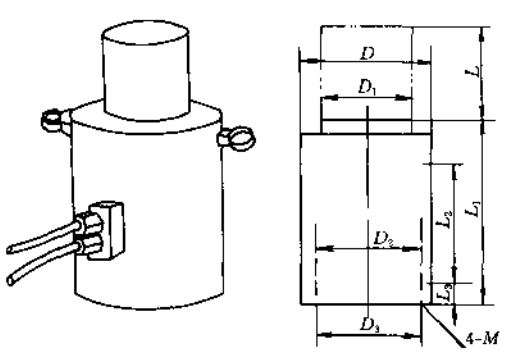
图 31.2-1 飞机起落架顶升用千斤顶

在大型桥梁、塔台(电视塔等)、钢架结构件、发电机组、水利枢纽设备的安装、移位和维修也常常应用数个大型千斤顶组成一组或几组顶升装置进行施工。表

31.2-1 所示为上海千斤顶厂生产的 QF 型分离式液压千斤顶。该厂已能生产最大吨位达 1000 吨的千斤顶。

表 31.2-1 QF 型分离式千斤顶产品型号及参数表

单位: mm



| 型号         | 起重量<br><i>t</i> | 起重高度     | 最低高度                  | 接口间距                  | 接头与端面距离               | 液压缸外径    | 活塞杆直径                 | 液压缸直径                 | 安装螺孔 |     | 工作压力 /MPa | 质量 /kg |
|------------|-----------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|------|-----|-----------|--------|
|            |                 | <i>L</i> | <i>L</i> <sub>1</sub> | <i>L</i> <sub>2</sub> | <i>L</i> <sub>3</sub> | <i>D</i> | <i>D</i> <sub>1</sub> | <i>D</i> <sub>2</sub> | 圆周   | 直径  |           |        |
| QF50-12.5  | 50              | 125      | 250                   | 158                   | 25                    | 140      | 70                    | 100                   | 85   | M16 | 62.4      | 26     |
| QF50-16    |                 | 160      | 285                   | 193                   |                       |          |                       |                       |      |     |           | 29     |
| QF50-20    |                 | 200      | 325                   | 233                   |                       |          |                       |                       |      |     |           | 33     |
| QF100-125  | 100             | 125      | 275                   | 165                   | 30                    | 180      | 100                   | 140                   | 120  | M20 | 63.7      | 46.5   |
| QF100-16   |                 | 160      | 310                   | 200                   |                       |          |                       |                       |      |     |           | 52.5   |
| QF100-20   |                 | 200      | 350                   | 240                   |                       |          |                       |                       |      |     |           | 58.8   |
| QF200-12.5 | 200             | 125      | 310                   | 165                   | 45                    | 250      | 150                   | 200                   | 160  | M24 | 62.4      | 106.4  |
| QF200-16   |                 | 160      | 345                   | 200                   |                       |          |                       |                       |      |     |           | 116.4  |
| QF200-20   |                 | 200      | 385                   | 240                   |                       |          |                       |                       |      |     |           | 127.4  |
| QF320-20   | 320             | 200      | 410                   | 244                   | 50                    | 320      | 180                   | 250                   | 220  |     | 63.9      | 216    |
| QF500-20   | 500             | 200      | 460                   | 265                   | 75                    | 400      | 250                   | 320                   | 300  | M24 | 62.4      | 390    |
| QF630-20   | 630             | 200      | 517                   | 275                   | 80                    | 480      | 280                   | 360                   | 360  |     |           | 630    |
| QF800-20   | 800             | 200      | 567                   | 294                   | 103                   | 550      | 320                   | 400                   | 400  |     |           | 940    |
| QF1000-20  | 1000            | 200      | 620                   | 300                   | 110                   | 600      | 360                   | 450                   | 450  |     |           | 1200   |

生产厂: 上海千斤顶厂



### 31.2.2 复轨设备

在铁路运输中,机车、车辆难免会发生脱轨事故,此时重量约150t的火车头要想尽快复位到轨道上不是一件容易的事,以往是从机务段临时紧急调来列车吊机,进行吊复作业,造成大范围停止列车运行。若是电力机车脱轨,用吊机复位还要剪断电力线。如果事

故发生在隧道、桥梁处更难以进行吊复作业。近年来国内外已开始采用液压复轨设备,如图31.2-2所示。

它是由两台电动超高压液压泵1,分别先给两台液压起升缸2供油,将出轨的机车顶起,放置到横移梁3上,再由横移缸4将机车移位到铁轨上,再由起升油缸逐步将机车放下,复位到铁轨上。由于这套液压复

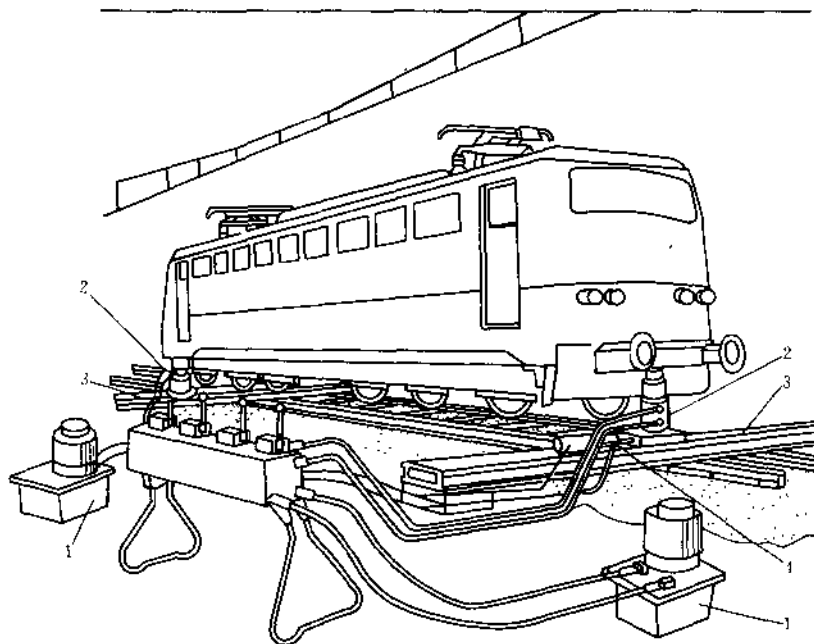


图 31.2-2 液压复轨设备示意图

轨设备,比列车吊机要小得多,容易搬运,因此可以在较短的路段内就设置一套。便于及时到事故现场进行救险。

图31.2-3所示为上海华光工具厂最新开发的一套新型的液压复轨设备。它有一个箱形梁2,将箱形梁套入机车的挂钩1上,并用螺栓3将机车挂钩锁入箱形梁中。有四个液压缸5,按两个一组,分别配置于箱形梁的两侧,下端分别与两个活动靴底板6相连,在起复作业中,负荷不易偏斜出每组液压缸的活动靴底板之外。由于有四个液压缸因而举升力大,而每个液压缸的重量轻、便于拆装搬运。两活动靴之间用钢链作柔性连接,便于调节间距及适合复杂地形。有两台电动超高压液压泵站7,分别由高压软管8与两组液压缸相连。当复轨作业时,先同时启动两台液压泵站,此时先将泵站上的旁路截止阀关紧。随着油压升高,四个液压缸将机车缓缓升起,升到一定高度后关闭两

台液压泵,此后只要慢慢开启其中一台液压泵站上的旁路截止阀就可实现机车的横移。例如需要机车右移,只要慢慢松开右边液压泵站上的旁路截止阀的微调旋钮,那么机车就会随着位置的降低而实现向右移动的目的。当机车车轮横移至铁轨正上方与铁轨对齐时,同时缓缓松开两台液压泵站上的截止阀微调旋钮,使机车复位至铁轨上,如一次不能到位,可重复以上步骤直到完全复位为止。这种新型的液压复轨设备比起前一种液压复轨设备,不需要为安装钢质的横移梁预先较大地平整路基。另外后一种设备是托在机车挂钩上,不致引起车箱、车轮的变形。整个设备也更简单、轻便。

### 31.2.3 液压拆破器具

在公路上,特别是高速公路上,一旦发生车祸,车辆往往发生严重变形,在高速公路上有时五、六辆车同时高速撞击在一起。由于车架及车门变形而无法开

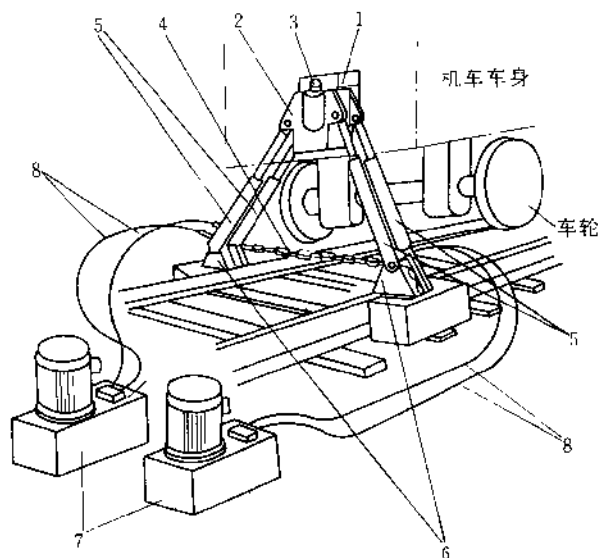


图 31.2-3 新型液压复旧设备示意图

启,为了将受伤人员从车内救出,必须要有快速、强力、轻便而又有效的工具将车门或车架撑开、剪断或撕碎,尽快把人员救出。在一些火灾现场、矿山以及一些自然灾害,如地震等的抢险现场,由于人员被困在建筑物、金属构件或混凝土构件之中,必须立即把这些构件拆开,把被困人员尽快救出。我国公安部为了在高速公路和消防队配备这些快速救援器具已下达上海千斤顶厂和德州液压机具厂研制和生产整套的液压拆破器具,图 31.2-4 所示是其中几种抢险、救援用的液压拆破器具。其中图 1、2 是液压剪切器,它是利用液压缸的推力推动一对连杆机构带动剪刀,把金属构件剪断或撕碎。图 3 为液压扩张器。图 4 为剪扩器,其中部是两个剪口,外端是两个撑抓。图 5 为液压撑顶器,它利用一个液压缸和活塞杆的伸出,可将金属或其它构件撑开。这些器具都可通过高压软管与超高压液压油源相连。油源是电动机或汽油机驱动的液压泵站,在万不得已时也可用手动液压泵驱动。

#### 31.2.4 液压压接技术

以往高层建筑,大型桥梁等所用的钢筋接长,都是用现场焊接的方法,其施工难度大,对工人的技术等级要求高,质量也难于保证,近代采用了一种利用超高压液压技术,将所要接长的两根钢筋头套入一个连接套内,如图 31.2-5 所示,利用一套液压压接工具,将套管与两根钢筋冷扣、压接成一体。扣压连接处的强度

高于钢筋本体的强度。质量可靠,比焊接方法要求的技工等级低,设备较轻易于搬运到高空作业,而且减少了焊接火花、噪声等危害。我国近期的一些大型建筑工程,如:北京中央电视塔,上海东方明珠电视塔、南浦大桥、杨浦大桥、钱江大桥等都已采用了这一新技术。同样的工艺方法也用于输变电工程的电缆压接。为了使这些压接设备轻便,一般采用 63~120MPa 的超高压工作压力。

#### 31.2.5 液压扳手和螺栓拉伸器具

在一些大型压力容器、核电站的反应堆、大型结构件、桥梁上的巨大螺栓、螺母的紧固与松脱,都需要采用液压扳手才能有足够的拧动力矩。还能大大减轻劳动强度,操作方便。此外,通过对液压工作压力的调节,可以保证获得所要求的测力扳手的力矩。图 31.2-6 所示为液压扳手结构原理简图和液压系统图。液压扳手的工作原理是利用一个小型液压缸的活塞杆运动,推动一套棘轮机构,再带动套在螺母上的一套模具。活塞每往复运动一次,都使模具带动螺母转过一个角度,逐步拧紧(或松开)。在大型容器和重要的设备上(如核电站的反应堆)在拧紧螺母时,还要求预先利用一个拉伸液压缸将螺栓进行预拉伸,达到一个预定的拉伸量后,将螺母轻轻拧紧,再将拉力释放,螺栓由弹性恢复而使螺母压紧在容器上,这种方法可使拧紧的螺栓、螺母中不存在残余扭转应力。

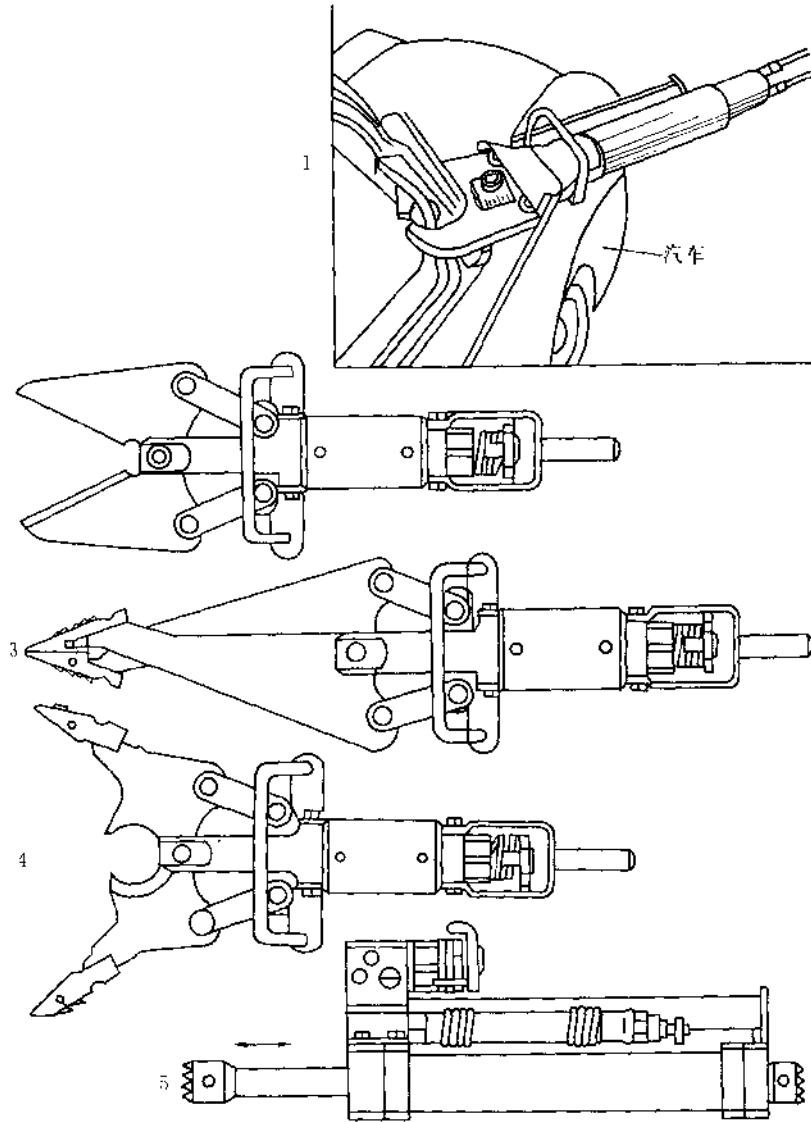


图 31.2-4 几种抢险救援用的液压拆破器具

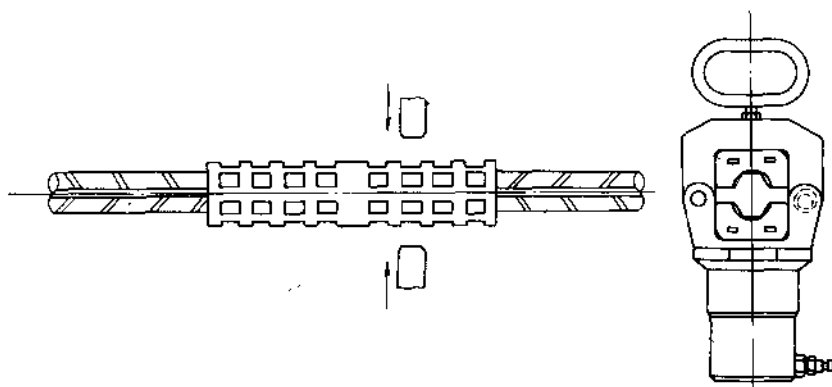


图 31.2-5 钢筋, 电缆用液压压接钳示意图

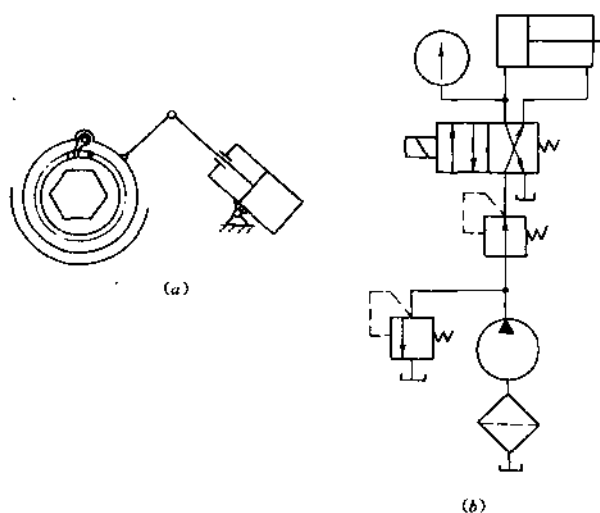


图 31.2-6 液压扳手工作原理图

### 31.2.6 液压弯管机

图 31.2-7 所示为常用的小型液压弯管机, 按照被弯管子外径的大小, 装上相应的活动模具 4 和转动定模 3, 使定模上不同半径的凹口与被弯管子的外径相吻合, 当手动泵 1 (或电动液压泵) 供油给液压缸 2 时, 活塞推动活动模 4, 使管子弯曲成一定的角度。由活塞行程的大小, 确定管子弯曲角度的大小。这是一种非常简易、轻便、操作方便的冷弯弯管机, 应用非常普遍。

### 31.2.7 液压侧管机

液压侧管机是用液压能作动力来切割铸铁管的

一种先进工具。它工效高、断口质量好, 替代了劳动强度高的人工切割方法。图 31.2-8 为上海华光工具厂生产的液压侧管机, 适用于  $\phi 100 \sim \phi 300 \text{mm}$  铸铁管。当用手动泵或电动泵供油给液压缸 2 时, 使整个刀框收口, 刀框内侧的侧刀将铸铁管一次切断。图 31.2-9 是该厂近期开发成功, 并由国家科委送展, 在 43 届纽伦堡国际新发明展览会获银奖的链式侧管机, 适用于  $\phi 250 \sim \phi 400 \text{mm}$  铸铁管。当给液压缸 2 供超高压油压时, 活塞外伸, 将围箍在铸铁管上的链条收紧, 在链条的内侧圆周上装有多片侧刀。此时四周的侧刀均匀地向内挤压, 将铸铁管整齐地侧成两段。

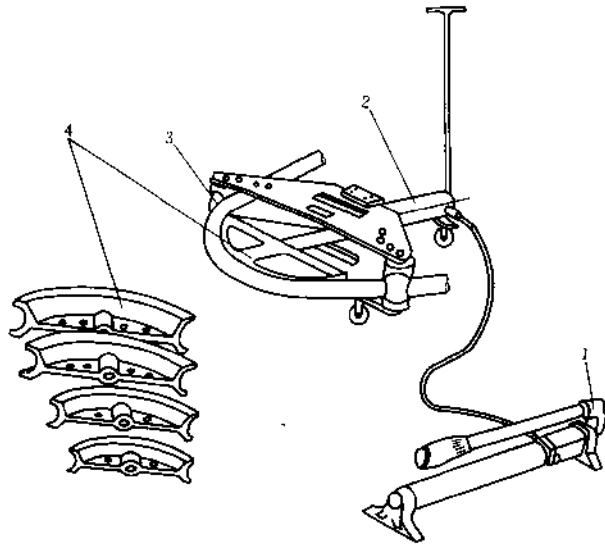


图 31.2-7 小型液压弯管机示意图

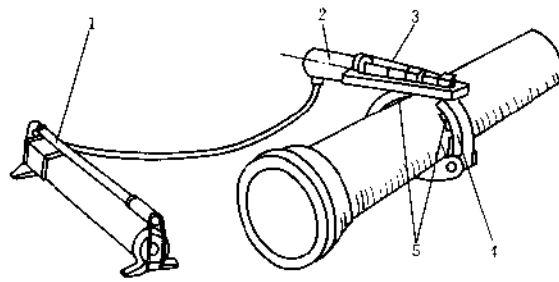


图 31.2-8 液压割管机

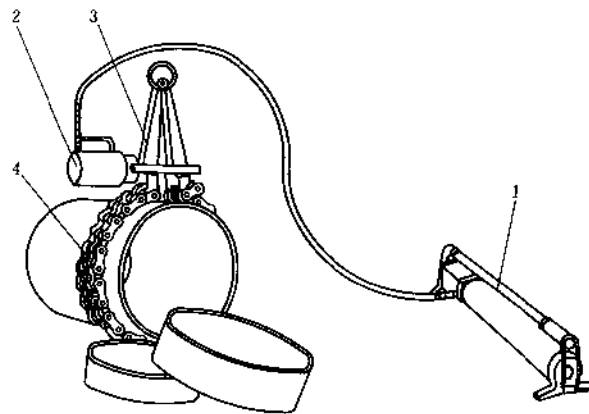


图 31.2-9 液压链式割管机

### 31.2.8 液压切割机

图 31.2-10 为一种分离式液压钢筋切割机,它分成两部分,其一是液压源,一般为电动超高压液

其二为工作头。当超高压液压油进入工作头中的压力油腔内时,活塞 5 向前移动,推动动刀片 6,将钢筋切断。也有将液压泵、电动机和切割工作头装置成一体

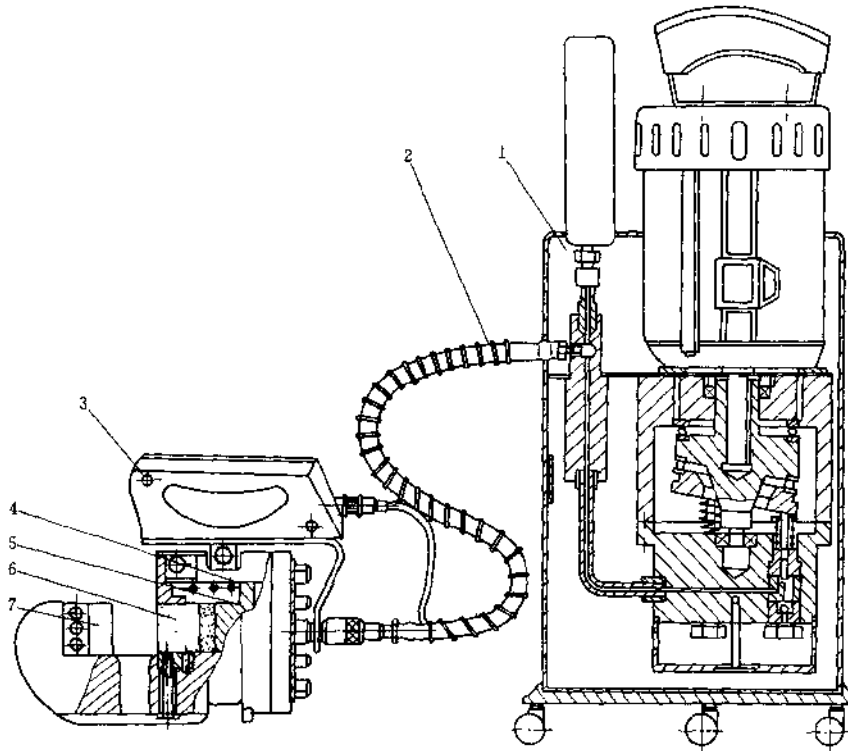


图 31.2-10 分离式液压钢筋切割机

的集成式的液压钢筋切割机。

图 31.2-11 是一种固定式的液压角钢切割机。当给顶部的液压缸供压力油时,与活塞相连的上刀片向下移动,将角钢切断。类似的切割机,将刀具换成不

同的形式,就可以切割电缆、铜排、槽钢、钢筋以及在板上冲孔、铆接等工作。

### 31.2.9 无键传动的液压装卸工具

在机械传动中一种较新的技术是传动轴与轮壳之间用锥度紧配合而无键连接的传动,这种传动方式需要利用一套超高压的液压装卸工具。图 31.2-12 是德州液压机具厂在 80 年代初研制成功的这种装置的工作原理图。

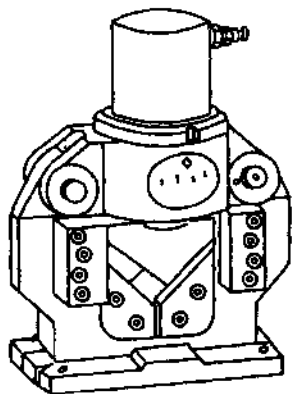


图 31.2-11 固定式液压角钢切割机

它是一套用手动液压泵作超高压油源,再经增压缸获得一个高达 250MPa 的超高压装置。首先用左边的手动泵 1 给空心压力机 2 中的拉杆 3 一个拉力,使轮壳 5 的锥孔与轮轴 4 的锥面紧密配合。然后,利用右边手动泵 8 产生的高压油经控制阀 7,到增压缸 6 (增压比 1:7),从增压缸出来的超高压液流(最高可达 250MPa)进入轮壳锥孔中特定的油室和油槽,使轮壳内孔产生弹性变形而扩大。此时在左边空心压力机中拉杆 3 的拉力使轮壳 5 压向左边,直到达到所要求的

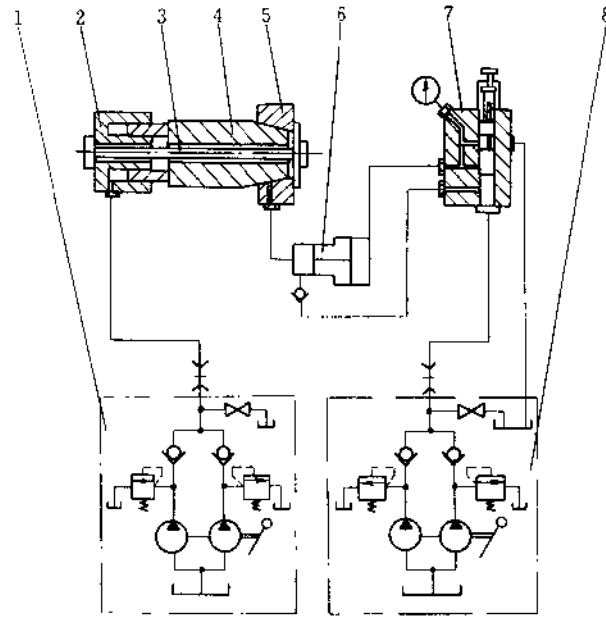


图 31.2-12 锥度配合无键连接传动技术的液压装卸工具原理图

装配位置为止。然后,先后将泵 1 和泵 8 卸载,就可使这副锥度偶合件达到紧密的配合。在拆卸时,只需用泵 8 给轮壳 5 内腔加压,靠锥度产生一个轴向分力,推动轮壳 5 向外脱落。

**31.2.10 液压镐**

液压镐也称液压冲击器,是一种移动式手持操作的液压破碎工具。主要用于建筑、公路、铁路、市政工程,石方工程的凿穿和破碎工作。它根据交流液压技术原理产生交变液流,这种具有压力能的交变液流使回路产生液压振动,激发活塞和执行机械产生机械振动而工作。由于液压的压力远高于气动的压力,所以液压振动的冲击力比气动的大,凿岩和破碎的效率高,而能耗却比气动的小,仅为气动的 1/4~1/5。此外,液压镐的噪声比气动的风镐要低,无雾气,可显著地改善工作区域的劳动条件,在市政工程中甚至可以进行晚间作业。

使回路产生交变液流的方法很多,其中,直流液压法结构简单,使用方便,为各种液压镐所采用。其常用压力为 7~16MPa,最高 35MPa。配流常为强制配流或自激反馈配流。振动频率一般为 20~50Hz,最高达 100Hz。“冲击能”在 50N·m 左右。

常见液压镐的结构原理如图 31.2-13 所示,这是一种直流自动配流型的液压镐。由电动泵(或内燃机驱动泵)作为直流液压源。液流通过高压软管送往镐

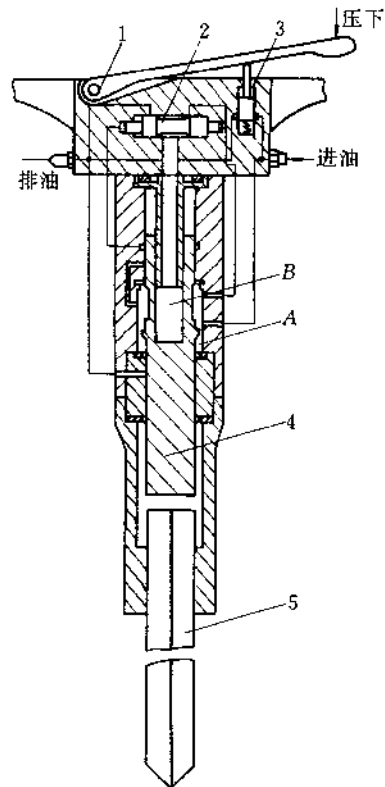


图 31.2-13 液压镐结构原理图

头进油口。其工作原理如下:当操纵杆 1 压下开关阀 3 的阀芯时(如图位置),压力油首先进入起缓冲和冷却作用的油腔 A,再经控制阀 2 进入工作油腔 B,使活塞兼撞击器 4 快速向下运动至最低位置,并撞击钎头 5 进行冲击破碎工作。此时控制阀 2 向左移,工作油腔 B 接通排油管路而卸载。油腔 A 中的压力油使活塞兼撞击器 4 向上返回最高位置,此时控制阀 2 右移,下一次振动重复开始。如此反复循环,便产生了连续的振动撞击作用。当操纵杆 1 松开时,开关阀 3 的阀芯上移,压力油经油腔 A 及开关阀孔油腔直通回油管路而卸载,整机不工作,油腔 A 的上下两端均设有缓冲减振结构,以防止活塞兼撞击器 4 在超过规定行程时损伤其他零件。其它各种直流自动配流型的液力桶工作原理大同小异。

### 31.3 液动力转向装置

#### 31.3.1 概述

车辆转向分机械转向和动力转向两类;以驾驶员手力为动力的转向称为机械转向,以液压或气压为主要动力的转向称为动力转向。按工作介质,动力转向可分为液压式和气压式两种。由于液压动力转向以油液或其他液体为工作介质,与气压式比较,系统工作压力较高,介质的可压缩性很小,具有结构紧凑、重量轻、体积小、灵敏度高、稳定性好、能够吸收路面冲击和无需另设润滑装置等优点,因此应用较广。

液动力转向装置的组成和各部分之间的关系参见图 31.3-1。

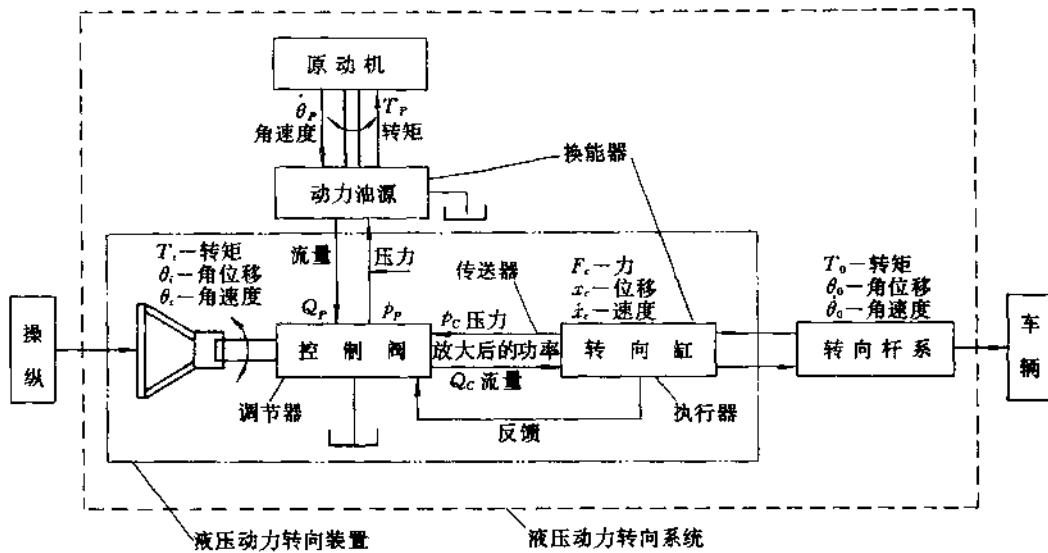


图 31.3-1 液动力转向系统

液动力转向装置可分为液助力式和全液压力式两大类。

液助力转向装置由转向器、控制阀和转向缸等

组成,各部分间均保持机械联系。

典型的液助力转向装置的原理,如图 31.3-2

所示。

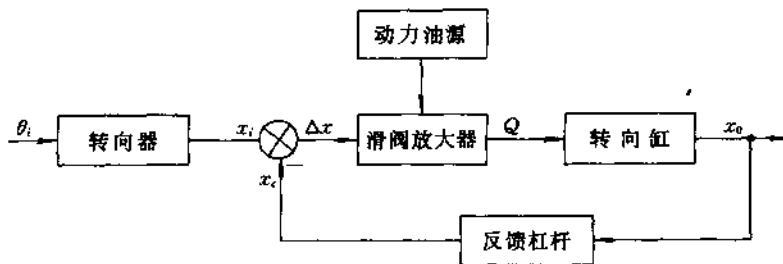


图 31.3-2 一种滑阀式液助力转向装置的原理方块图



全液压转向装置一般由计量油泵或计量马达、控制阀和转向缸等组成。其中至少有两部分之间没有机械联系。

典型的全液压转向装置和原理,如图 31.3-3 所示。

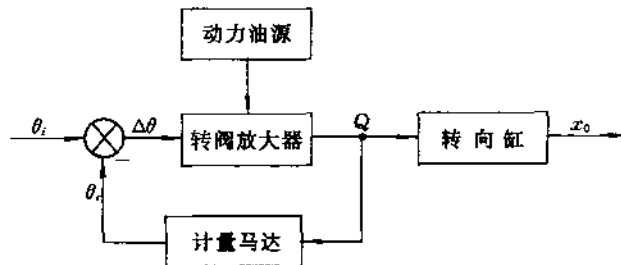


图 31.3-3 一种转阀式全液压转向装置的原理方块图

### 31.3.2 液压助力转向装置

输出端与输入端之间保持机械联系的液动力转向装置称为液压助力转向装置。

液压助力转向装置具有操纵轻便、转向灵敏、随动精度高,可根据需要增设反作用元件,取得较理想的“路感”,以及当液压系统发生故障时,能够蜕化为机械转向装置,实现应急转向等特点,广泛地应用于各种车辆。但是,由于这类装置保留了复杂的转向杆系,总体布置欠灵活,此外应用于大流量时系统效率较低,因此在低速车辆上逐渐被全液压转向装置取代。

液压助力转向装置由转向器、控制阀和转向缸三个主要部分组成,在此基础上可增设反作用元件和转向限位阀等。

#### (1) 分类

液压助力转向装置按液流形式,可分为常流式和常压式。常流式液压助力转向装置由恒流动力油源(通常是由定量泵和恒流阀等元件组成)供油,组成恒流系统。不转向时,油液经控制阀内的配油窗口返回油箱,这时动力油源处于卸荷状态。转向时,动力油源的压力随转向负载的大小而变化。无论哪种工况,动力油源的输出流量基本不变。常压式液压助力转向装置由恒压动力油源(通常是由定量泵、蓄能器和单向阀,或者由恒压变量泵等元件组成)供油,组成恒压系统。不转向时,控制阀封闭进油口,无论转向与否,动力油源的输出压力基本不变,输出流量则随负载要求变化。

恒流系统结构简单,维护方便,元件寿命较长。恒压系统能够实现高压下多负载同时工作,控制阀具有较好的调节特性,装有蓄能器的恒压系统能够实现应急动力转向,但结构复杂。目前常流式液压助力转向

装置应用较广。

液压助力转向装置按控制阀结构可分为滑阀式和转阀式两种,滑阀式结构的控制阀在装置中布置灵活,而且容易设置反作用元件从而获得较理想的“路感”,转阀式控制结构简单、灵敏度高,但“路感”不明显。滑阀式液压助力转向装置还可分为轴向滑阀式和切向滑阀式两种。此外,由定中方式、有无反作用元件以及定中弹性元件的不同结构,可组合成以下几种结构方案。

- 带有定中元件,但无反作用元件的弹簧定中结构,其定中元件可以是螺旋弹簧、蝶形弹簧、扭杆和摆杆等。

- 无定中元件而有反作用元件,即带反作用室的液压定中结构。

- 既有定中元件又有反作用元件的两种结构:定中弹簧加反作用柱塞结构和定中弹簧加反作用室结构。

液压助力转向装置按转向器、控制阀和转向缸三者之间的相互位置,可分为整体式和分置式两种,三者合为一体的称为整体式,否则为分置式。整体式具有结构紧凑、管路简单等优点,但自身要求承受较大的载荷,在转向桥负载很大的情况下采用这种结构,装置的尺寸需要做得很大,总体布置困难,因此一般用于转向桥负荷不很大的车辆。分置式结构简单、布置灵活、便于在原来装有机机械转向装置的车辆上进行改装,目前在重型车辆上应用较广。分置式液压转向装置还可分为半分置式、联阀式和联杆式,控制阀装在转向器上的称为半分置式,控制阀装在转向缸上的称为联阀式,控制阀装在转向器和转向缸之间拉杆上的称为联杆式。

#### (2) 典型结构及工作原理

目前国内常见的液动力转向装置的结构有轴向

滑阀式、切向滑阀式和转阀式。

图 31.3-4 所示是轴向滑阀常流式液压助力转向装置。该装置的转向器部分由转向螺杆 11 和转向螺

母 12 组成,转向螺杆与控制阀阀芯 7 同轴,滑阀的台肩和阀体 9 的沉割槽之间形成中位负重叠窗口。

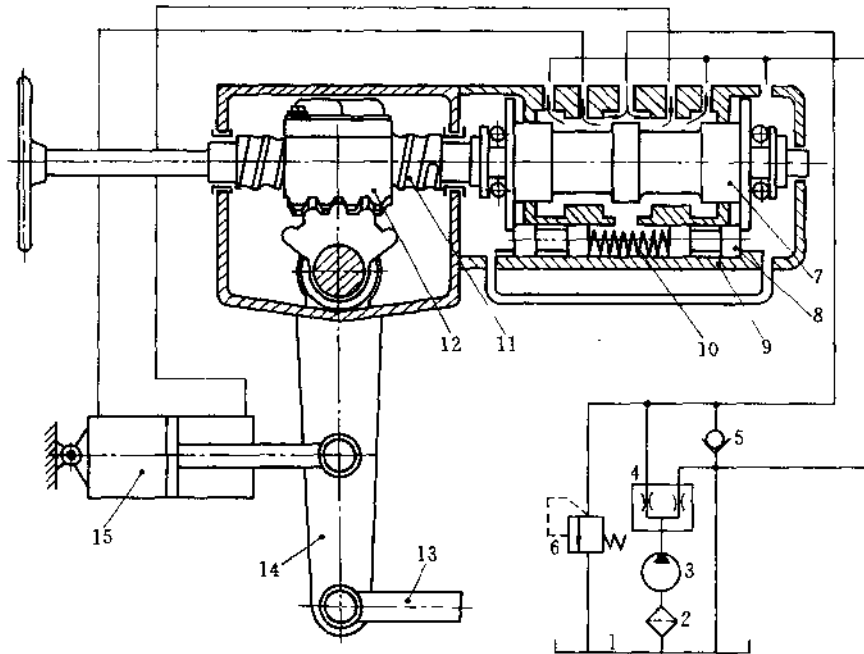


图 31.3-4 轴向滑阀常流式液压助力转向装置

1—油箱;2—滤油器;3—油泵;4—恒流阀;5—单向阀;6—安全阀;7—阀芯;8—反作用柱塞;9—阀体;10—定中弹簧;11—转向螺杆;12—转向螺母;13—直拉杆;14—转向垂臂;15—转向油缸

方向盘静止时,阀芯处于中位,动力油源输出的油液经控制阀配油窗口回油箱,转向油缸 15 的两腔通过控制阀配油窗口与回油路沟通。

转动方向盘时,开始因转向负载的约束,转向螺母不动。方向盘在带动转向螺杆转动的同时,推动阀芯偏离中间位置,压力油经控制阀配油窗口进入转向缸的一侧,推动转向垂臂 14。与此同时,转向垂臂 14 的上端推动转向螺母,使阀芯向中间位置移动,确保转向垂臂的摆角与转向螺杆转角成正比。方向盘停止转动后,定中弹簧 10 使阀芯对中,液压动力转向停止。

在转向过程中,转向缸的进油腔压力随转向负载的大小而变化,此压力传到反作用柱塞 8 与定中弹簧 10 相接触侧,因此当驾驶员转动方向盘时,除了要克服定中弹簧的阻力外,还要克服随转向负载变化的反作用柱塞阻力,从而产生“路感”。

当动力油源中断实现应急转向时,进、回油道间的

压差打开单向阀 5,沟通进、回油道,防止转向缸两腔吸空或困油,减少阻力。

图示液压转向装置由恒流油源供油,油源中恒流阀量孔两端的压差控制其主阀,使油源输出流量基本上不随泵转速和负载压力变化。

图 31.3-5 所示是切向滑阀常流式液压助力转向装置。该装置的机械部分是循环球齿条齿扇式转向器(齿条活塞与齿扇啮合部分未画出)。用轴承支撑在齿条活塞 2 中的转向螺母 7 只能小幅度的转动,不能移动。弹性摆杆 4 的一端固定在齿条活塞上,另一端插入转向螺母外圆柱的缺口中,当螺母相对齿条活塞转动时,压迫弹性摆杆使其弯曲,弹性摆杆的弹性力使转向螺母回中。装在齿条活塞上的三位四通滑阀 17,其轴线与齿条活塞轴线垂直,并且可以被固定在转向螺母上的拨销 12 拨动。分置于滑阀两端的反作用柱塞 16 与滑阀之间形成两个反作用室。

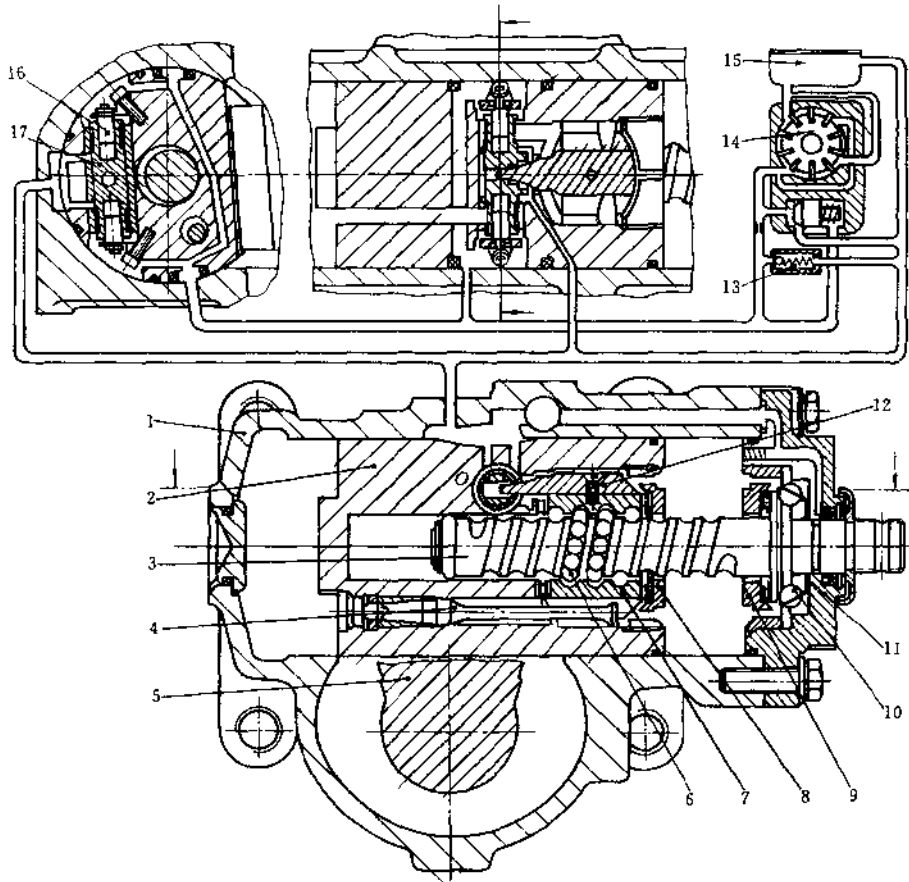


图 31.3-6 切向滑阀常流式液压助力转向装置

1—转向装置壳体；2—齿条活塞；3—转向螺杆；4—弹性摆杆；5—齿扇摇臂轴；6—钢球；7—转向螺母；8—转向螺母固定盘；9—转向螺杆固定盘；10—径向止推滚珠轴承；11—端盖；12—拨销；13—安全阀；14—转向油泵；15—油箱；16—反作用柱塞；17—滑阀

方向盘静止时，滑阀处于中位，动力油源输出的油液经滑阀中位负重叠配油窗口回油箱。齿条活塞两侧通过滑阀配油窗口与回油路沟通。

转动方向盘时，开始因转向负载的约束，齿条活塞不动，转向螺母被两侧的轴承支承在齿条活塞内不能移动。方向盘带动转向螺杆和转向螺母一起转动，并通过转向螺母上的拨销拨动滑阀移向一侧，压力油进入缸一侧，推动活塞移动。另一侧的油液经滑阀回油箱。与此同时，由于齿条活塞的移动，允许弹性摆杆拨

动转向螺母反向转动，使滑阀回中，确保齿扇摇臂轴与转向螺杆的随动关系。方向盘停止转动后，滑阀对中，液压动力转向终止。

在转向过程中，滑阀向某一侧移动时，该侧反作用室与高压腔接通，高压腔的压力随转向负载的大小而变化，另一侧反作用室则与低压腔接通。驾驶员转动方向盘时，除要克服弹性摆杆的弹性力外，还要克服滑阀两侧压差所造成的阻力，从而产生“路感”。

图 31.3-6 所示是转阀常流式液压助力转向装置。该装置的控制阀为转阀结构,转阀配油窗口中位负重叠。输入轴 1 与扭杆 2 的前端连接,与转阀 3 联动。扭杆反端与转向螺杆 5 连接,与转阀套 4 联动。

方向盘静止时,动力油源输出的油液经转阀回油箱。转动方向盘时,开始齿条活塞 6 受转向负载的约束不能移动,转向螺杆受轴承支承不能做轴向移动,因此转向螺杆、扭杆后端与转阀套不能转动,这时方向盘

带动输入轴、扭杆前端和转阀转动,调节转阀配油窗口开度,使动力油进入齿条活塞的一侧,从而推动齿条活塞移动。另一侧的油液经转阀回油箱。与此同时,由于活塞的移动,允许扭杆转动转向螺杆,并带动转阀套同向旋转,使转阀套相对转阀回中。确保齿扇摇臂轴与输入轴之间的随动关系,方向盘停止转动后,扭杆使转阀套与转阀对中,液压转向停止。

通常各种液压助力转向装置都设置转向限位阀,

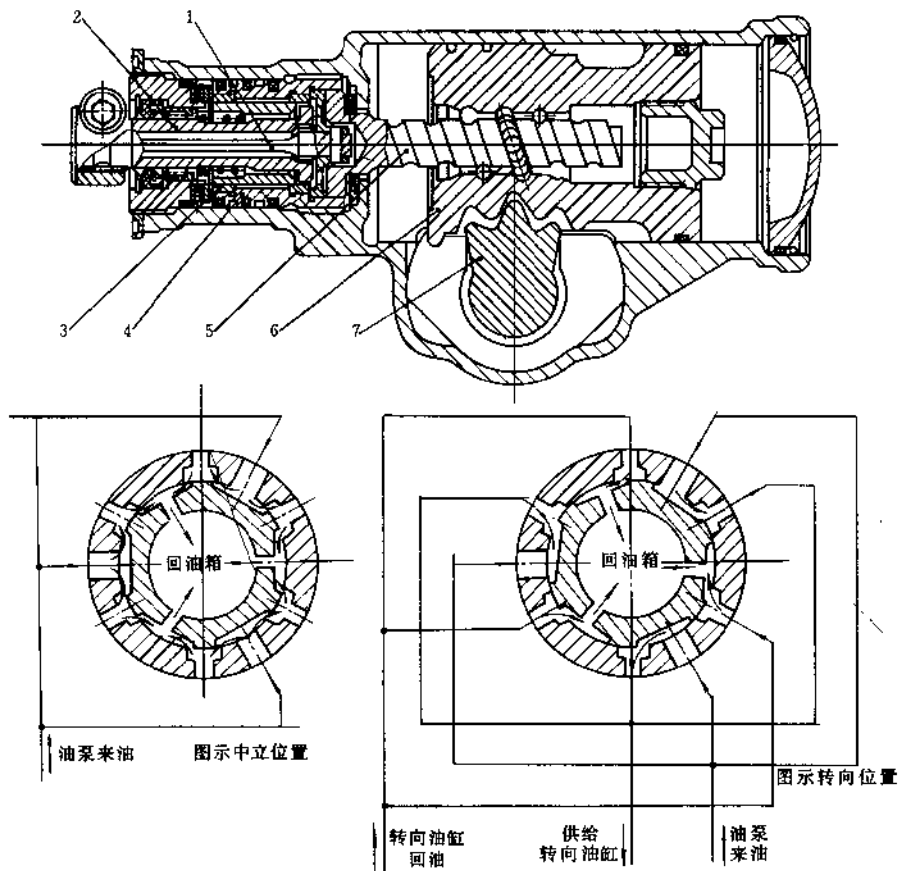


图 31.3-6 转阀常流式液压助力转向装置

1—输入轴;2—扭杆;3—转阀;4—转阀套;5—转向螺杆;6—齿条活塞;7—齿扇摇臂轴

用来防止转向缸活塞超过行程极限后,驾驶员继续转动方向盘,引起系统过载和发热。其原理是:当活塞达到行程极限时打开转向限位阀,使高低压腔连通,降低高压腔油压,使液压助力作用急剧减小。这时驾驶员手力增强,意识到活塞已达到行程终点,从而停止转向。

图 31.3-7 是一种装在转向装置侧盖上的提动阀式转向限位阀。图中的一对限位阀分别与液压缸左右腔相通。当齿条活塞 3 达到行程极限时,装在齿扇摇臂轴 5 端面上的凸轮 6 将一侧提动阀 2 顶起,使该侧高压腔与低压腔连通,从而使高压腔卸荷。

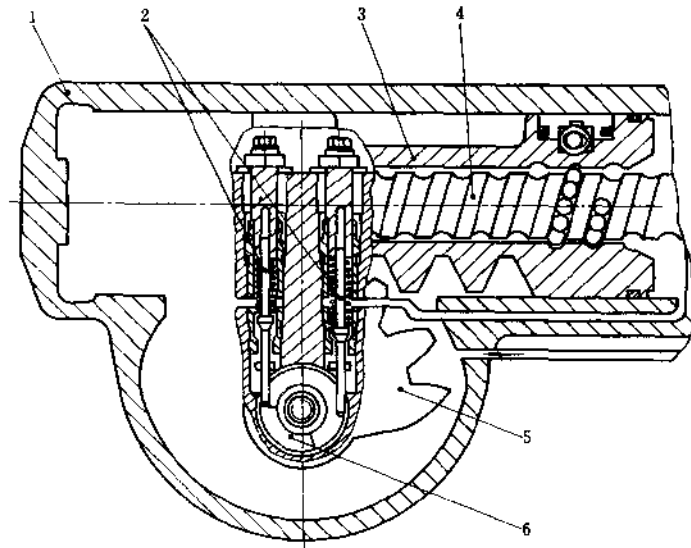


图 31.3-7 提动阀式转向限位阀

1—转向装置壳体;2—提动阀;3—齿条活塞;4—转向螺杆;5—齿扇摇臂轴;6—凸轮

图 31.3-8 是一种装在转向装置壳体上的柱塞式转向限位阀,当齿条活塞达到行程极限时,限位阀柱塞 4 落入齿扇端面凸轮 2 的限位槽中,液压缸高低压腔通过限位阀连通,从而使高压腔卸荷。

图 31.3-9 是一种装在齿条活塞上的球阀式转向限位阀。当齿条活塞 3 达到左右行程极限时,转向限位螺钉 7 和转向螺杆 4 上的限位销顶开限位阀钢球 2,连通高低压腔,使高压腔卸荷。

### (3) 产品介绍

目前我国能够生产多种结构的液压助力转向装置,主要产品如下。

#### A. 整体式液压助力转向装置

近年来我国引进了两大类整体式液压助力转向装置:美国 TRW 公司的转阀和德国 ZF 公司的切向滑阀结构的整体式液压助力转向装置。表 31.3-1 中列出的 IPS、JL 和 ZDZ 三个系列的产品属于前者,其结构参见图 31.3-6。ZF 和 JN 系列产品属于后者,其结构参见图 31.3-5。

#### B. 分置式液压助力转向装置

表 31.3-2 中列出了半分置式液压助力转向装置的主要技术参数,其原理可参考图 31.3-4,具体结构有所不同。表 31.3-3 中列出了联阀式液压助力转向装置的主要技术参数。图 31.3-10 所示为 BD65 型产品结构。

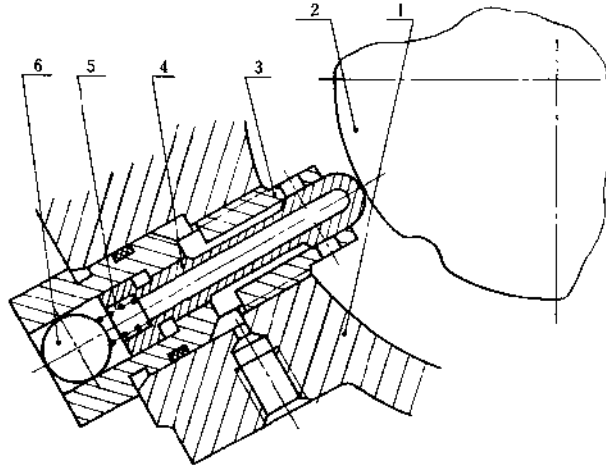


图 31.3-8 柱塞式转向限位阀

1—转向装置壳体;2—齿扇端面凸轮;3—限位阀阀体;4—限位阀柱塞;5—弹簧;6—钢球

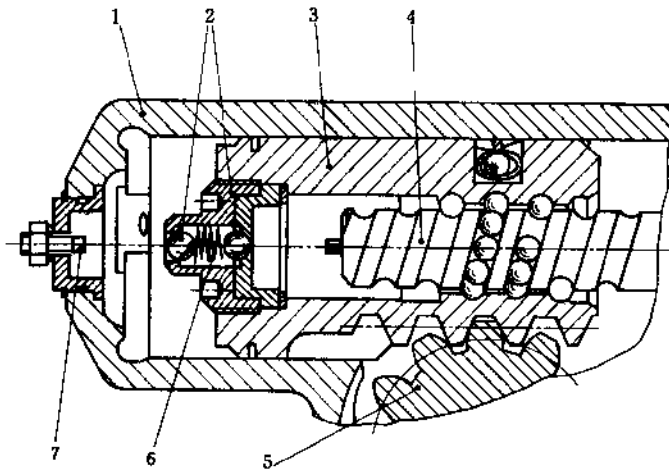


图 31.3-9 球阀式转向限位阀

1—转向装置壳体;2—钢球;3—齿条活塞;4—转向螺杆;5—齿扇摇臂轴;6—弹簧;7—转向限位螺钉

表 31.3-1 整体液压助力转向转臂的主要性能参数

| 型号<br>(总成号)   | 结构形式 |        | 转向器传动比           | 方向盘总圈数     | 臂轴总摆角 / (°) | 最大输出转矩 / (N·m) | 允许输出轴载荷 / kN | 最高工作压力 / MPa   | 流量 / (L/min) | 自重 / kg | 生产厂家              | 备注            |
|---------------|------|--------|------------------|------------|-------------|----------------|--------------|----------------|--------------|---------|-------------------|---------------|
|               | 转向器  | 控制阀    |                  |            |             |                |              |                |              |         |                   |               |
| IPS40         | 循环球  | 球阀     | 20.4:1           | 5.4        | 95          | 2745.5         | 40.8         | 13.7           | 22.71        | 28      | 中国第二汽车制造厂传动轴厂     | TRW 型号为 HFB52 |
| IPSS5         | 循环球  | 球阀     | 20.4:1           | 5.4        | 95          | 4259.5         | 54.4         | 13.7           | 22.71        | 37      | 中国第二汽车制造厂传动轴厂     | TRW 型号为 HFB64 |
| JL40          | 循环球  | 球阀     | 17.92            | 4.6        | 90          | 2450           | 40           | 10             | 10~20        |         | 湖北沙市久隆汽车动力转向器有限公司 |               |
| JL55          | 循环球  | 球阀     | 20.48            | 5.2        | 90          | 3450           | 55           | 10             | 10~20        |         |                   |               |
| JL65          | 循环球  | 球阀     | 20.48            | 5.2        | 90          | 4350           | 65           | 13             | 10~20        |         |                   |               |
| ZDZ1          | 循环球  | 球阀     | 14:1             | 3.4        | 87          | 1070           | 12.7         | 10.34          | 8.7~11.3     | 12.5    | 中国航空工业总公司豫北机械厂    |               |
| ZDZ5          | 循环球  | 球阀     | 17.2:1           | 4.2        | 87          | 1590           | 25.14        | 10.34          | 10.5~13.6    | 15      |                   |               |
| ZDZ6          | 循环球  | 球阀     | 15.8:1           | 4.1        | 94          | 646            | 10           | 8.3            | 5.5          | 9       |                   |               |
| ZDZ9          | 循环球  | 球阀     | 19.8:1           | 5.2        | 96          | 2480           | 38           | 10             | 12~15        | 28      |                   |               |
| ZDZ10         | 循环球  | 球阀     | 20.4:1           | 5.4        | 95          | 3350           | 55           | 10             | 12~16        | 32.5    |                   |               |
| ZF8037        | 循环球  | 切向滑阀常流 | 28.3:1<br>22.0:1 | 4.4<br>5.3 | 86          | 2240           | 38           | 10<br>13<br>15 | 12           | 21      | 四川汽车制造厂           |               |
| ZF8043        | 循环球  | 切向滑阀常流 | 20.2:1<br>23.5:1 | 4.8<br>5.6 | 86          | 3640           | 50<br>65     | 10<br>13       | 12           | 34      |                   |               |
| ZF8046        | 循环球  | 切向滑阀常流 | 23.4:1<br>26.2:1 | 5.4<br>6.3 | 86          | 6180           | 83           | 10<br>13<br>15 | 16           | 40      |                   |               |
| JN156-3401000 | 循环球  | 切向滑阀常流 | 23.4:1           | 5.5        | 86          | 3200           | 60           |                | 8~15         | 60      | 济南汽车制造总厂          | 立式            |
| JN162-3401000 | 循环球  | 切向滑阀常流 | 23.4:1           | 5.5        | 86          | 3200           | 60           | 7.5            | 8~15         | 60      |                   | 卧式            |

表 31.3-2 半定量式液壓助力轉向裝置的主要性能參數

| 型號<br>(總成號)         | 轉向器、控制閥總成 |                      |          |            | 配裝轉向液壓缸總成  |                   |                     |                  |                   | 液壓泵<br>流量<br>(L/min) | 工作<br>壓力<br>(MPa) | 生產廠家 |                 |                    |                   |
|---------------------|-----------|----------------------|----------|------------|------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------|-----------------|--------------------|-------------------|
|                     | 轉向器       | 結構型式                 |          | 轉向器<br>傳動比 | 方向盤<br>總齒數 | 搖桿軸<br>總擺角<br>(°) | 型號<br>(總成號)         | 缸筒<br>直徑<br>(mm) | 活塞杆<br>直徑<br>(mm) |                      |                   |      | 球銷之間的<br>中心距/mm |                    | 液壓缸<br>缸力<br>(kN) |
|                     |           | 控制閥                  | 輸出       |            |            |                   |                     |                  |                   |                      |                   |      | 完全<br>伸出        | 完全<br>縮回           |                   |
| SH361-<br>3401000-B | 循環球       | 軸向<br>滑閥<br>常流       | 齒條<br>齒扇 | 21.9:1     | 5.4        | 88                | SH361-<br>3405000-B | φ65              | φ26               | 740                  | 490               | 27   | 9~17            | 上海匯眾<br>汽車製造公<br>司 |                   |
| SX250-<br>3401000-B | 循環球       | 可調<br>軸向<br>滑閥<br>常流 | 球銷       | 27.9:1     | 5          | 70                | SX250-<br>345010-B  | φ470             | φ425              | 929                  | 653               | 27   | 8.4~12.5        | 陝西汽車<br>製造         |                   |

表 31.3-3 球閥式液壓助力轉向裝置的主要性能參數

| 型號<br>(總成號)        | 結構型式           |          | 缸筒<br>直徑<br>(mm) | 活塞杆<br>直徑<br>(mm) | 活塞<br>行程<br>(mm) | 兩端大球銷之間的<br>中心距/mm |      | 工作壓力<br>(MPa) | 額定工作壓力下的<br>缸力/kN |       | 生產廠家               | 備<br>注 |
|--------------------|----------------|----------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|------|---------------|-------------------|-------|--------------------|--------|
|                    | 控制閥            | 液壓缸      |                  |                   |                  | 完全伸出               | 完全縮回 |               | 活塞端               | 活塞杆端  |                    |        |
|                    |                |          |                  |                   |                  |                    |      |               |                   |       |                    |        |
| SH380-<br>3405000B | 軸向<br>滑閥<br>常流 | 單層<br>缸筒 | φ90              | -                 | 480              | 1414               | 1014 | 10            | -                 | -     | 上海匯眾<br>汽車製造公<br>司 | 無路感    |
| BD40               | 軸向<br>滑閥<br>常流 | 雙層<br>缸筒 | φ40              | φ20               | 250              | -                  | -    | 10            | 12.56             | 9.42  | 上海匯眾<br>汽車製造公<br>司 | 有路感    |
| BD50               | 軸向<br>滑閥<br>常流 | 雙層<br>缸筒 | φ50              | φ20               | 270              | -                  | -    | 10            | 19.63             | 16.49 | 上海匯眾<br>汽車製造公<br>司 | 有路感    |
| BD65               | 軸向<br>滑閥<br>常流 | 雙層<br>缸筒 | φ65              | φ20               | 300              | -                  | -    | 10            | 33.18             | 27.87 | 上海匯眾<br>汽車製造公<br>司 | 有路感    |
| ZZY 1A             | 軸向<br>滑閥<br>常流 | 單層<br>缸筒 | φ52              | φ22               | 360              | -                  | -    | 6.37          | 13.5              | 11.1  | 豫北機械               | 有路感    |



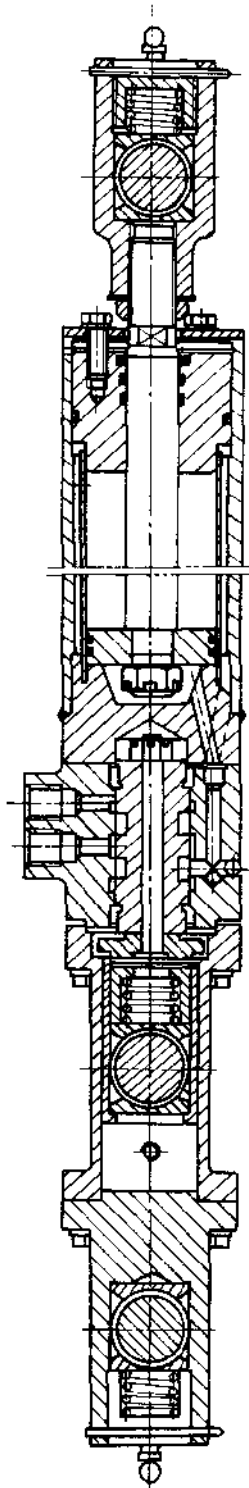


图 31.3-10 BD65 型联锁阀式液压助力转向装置

### 31.3.3 全液压转向装置

输出端与输入端之间没有机械联系的液压动力转向装置称为全液压转向装置。

全液压转向装置具有操纵灵活省力、结构简单、总体布置方便以及动力油源中断后仍能实现入力转向等优点。

#### (1) 分类及工作原理

全液压转向装置按控制方式通常可分为机械外反馈单路式、机械内反馈单路式、液压内反馈单路式和液压外反馈双路式等。

图 31.3-11 所示是机械外反馈单路式全液压转向装置。

图 31.3-12 所示是机械内反馈单路式全液压转向装置。

图 31.3-13 所示是液压内反馈单路式全液压装置的液压原理图。其系统组成见图 31.3-12(a)。

图 31.3-14 所示是液压外反馈双路式全液压转向装置。

按液流形式全液压转向装置可分为开心式(常流式)、闭心式(常压式)和负荷传感式三种。

开心式全液压转向装置的控制阀,中位时内部通道将进油口与回油口沟通,动力油源可通过该通道卸荷(见图 31.3-11~图 31.3-13)。该装置由恒流油源供油。

闭心式全液压转向装置的控制阀在中位时,封闭进油道(见图 31.3-14),该装置由恒压油源供油。

负荷传感式全液压转向装置的控制阀在中位时,封闭进油口,或者在进油口与回油口之间设置一个液阻很大的节流口,仅允许少量油液通过。转向位置时,在通向转向负载的油路中设置了一个变节流口,从该节流口两端测取压差,可用来控制优先阀或负荷传感变量泵(见图 31.3-15),使油源供油与负载要求相匹配。

全液压转向装置按中位时转向负载能否反作用于方向盘,可分为无反应和有反应两种形式。

无反应式全液压转向装置的控制阀,中位时封闭通往转向液压缸的油路(见图 31.3-11~图 31.3-15),转向负载不能反作用于方向盘。

有反应式全液压转向装置的控制阀,中位时接通通往转向液压缸的油路,转向液压缸受转向负载作用排出的油液,经控制阀输入并推动计量马达,带动方向盘转动。图 31.3-16 是该装置的液压原理图。

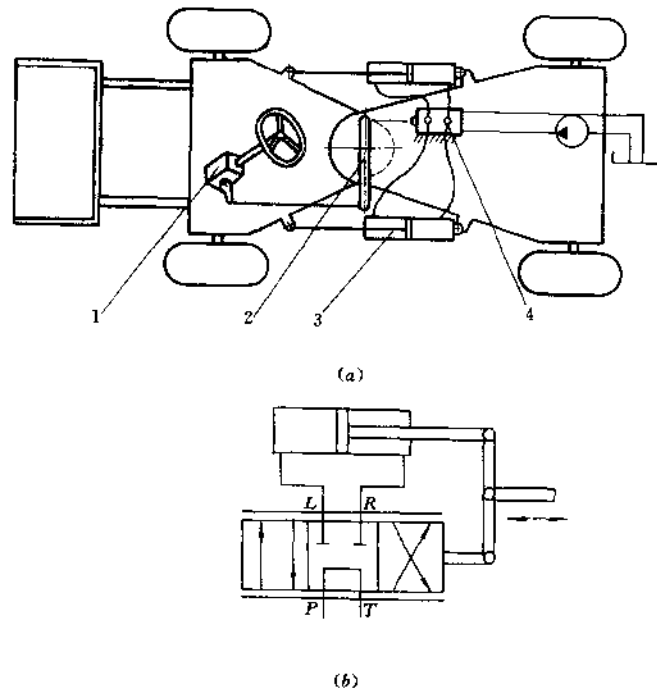


图 31.3-11 机械外反馈单路式全液压转向装置

(a) 系统安装图; (b) 液压原理图

1—转向器; 2—机械杆系; 3—转向液压缸; 4—控制阀

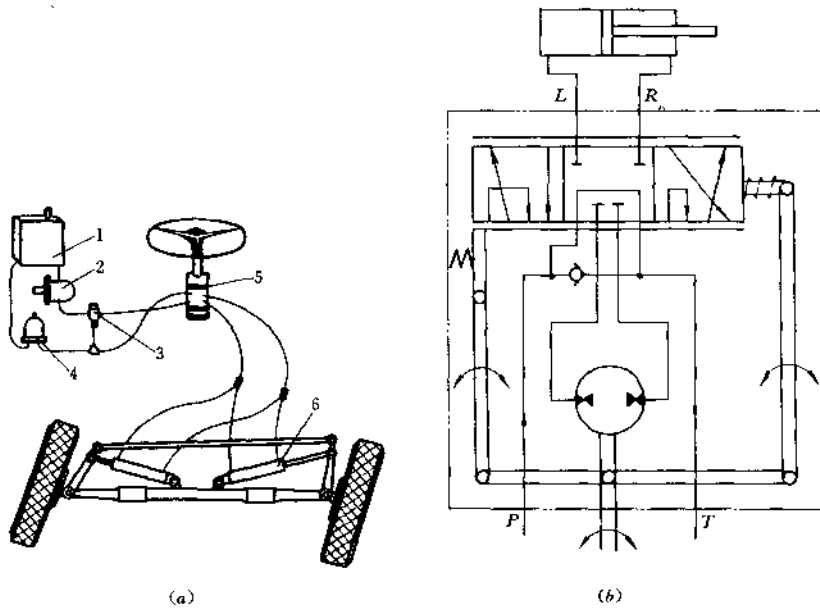


图 31.3-12 机械内反馈单路式全液压转向装置

(a) 系统安装图; (b) 液压原理图

1—油封; 2—油泵; 3—溢流阀; 4—滤油器; 5—泵与阀总成; 6—转向液压缸

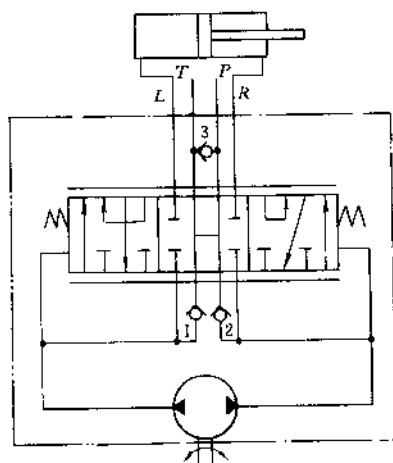


图 31.3-13 液压内反馈单路式全液压转向装置的液压原理图

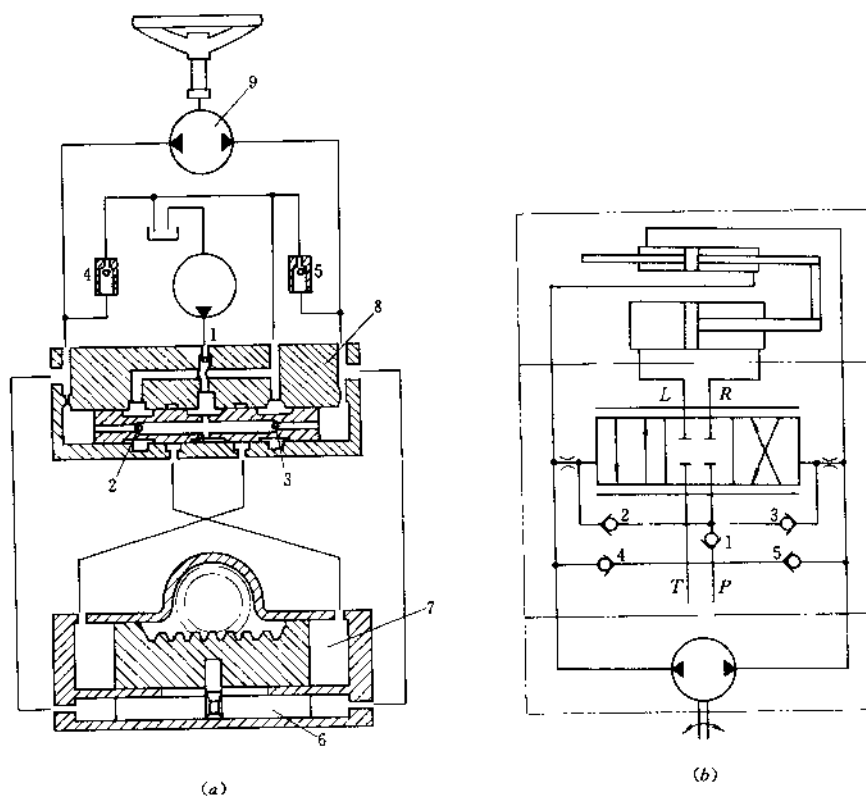


图 31.3-14 液压外反馈双路式全液压转向装置

(a)结构图;(b)液压原理图

1, 2, 3, 4, 5—单向阀;6—反馈缸;7—转向缸;8—控制阀;9—计量泵

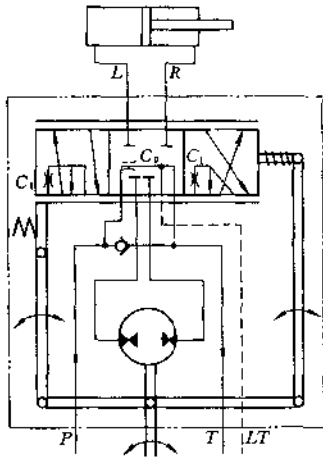


图 31.3-15 负荷传感全液压转向装置的液压原理图

(2) 产品介绍

A. BZZ 系列全液压转向器

BZZ 系列全液压转向器是我国自行设计的系列化定型产品,它可与转向液压缸组成机械内反馈全液压转向装置。该系列转向器结构简单、工作可靠、品种齐全,能与各种机能的阀块、单稳分流阀、优先阀、流量放大器 and 液压泵配套使用,组成各种全液压转向系统,目前已广泛地应用于联合收割机、拖拉机、装载机、叉车、轮胎式起重机等低速车辆。

(A) 型号说明

BZZ \* - \* \* \* \*

- ① ② ③ ④

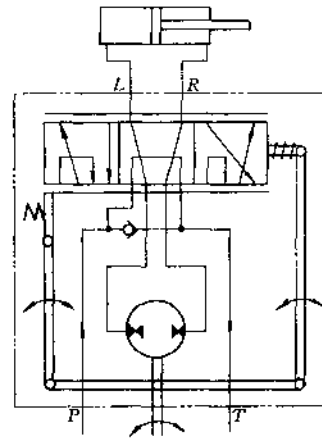


图 31.3-16 有反应式全液压转向装置的液压原理图

① 摆线转阀式全液压转向器

② 结构代号

- 1——开心无反应
- 2——开心有反应
- 3——闭心无反应
- 5——负荷传感无反应
- 6——负荷传感中卸

③ 压力等级

- D——12.5MPa(省略)
- E——16MPa

④ 排量 mL/r: 见表 31.3-4

表 31.3-4 BZZ 系列全液压转向器的主要技术参数

| 型 号                 | 公称排量<br>/(mL/r) | 公称<br>转 速<br>/(r/min) | 公称流量<br>/(L/min) | 最高压力/MPa  |     |     | 生产厂家        |
|---------------------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------|-----|-----|-------------|
|                     |                 |                       |                  | 进油口       | 回油口 |     |             |
|                     |                 |                       |                  |           | 连续  | 瞬时  |             |
| BZZ1-50 和 BZZ2-50   | 50              |                       | 3.8              |           |     |     | 镇江液压件总厂     |
| BZZ1-80 和 BZZ2-80   | 80              |                       | 6.0              |           |     |     | 济宁伊顿液压有限公司  |
| BZZ1-100 和 BZZ2-100 | 100             |                       | 7.5              |           |     |     | 北京液压件四厂     |
| BZZ1-125 和 BZZ2-125 | 125             |                       | 9.4              |           |     |     | 中国农机院液压件厂   |
| BZZ1-160 和 BZZ2-160 | 160             |                       | 12.0             |           |     |     | 黑龙江液压件厂     |
| BZZ1-200 和 BZZ2-200 | 200             | 75                    | 15.0             |           |     |     | 长江液压件厂      |
| BZZ1-250            | 250             |                       | 18.8             | 12.5/16.0 | 2.5 | 6.3 |             |
| BZZ1-315            | 315             |                       | 23.6             |           |     |     | 镇江液压件总厂     |
| BZZ1-400            | 400             |                       | 30.0             |           |     |     | 生产全系列产品     |
| BZZ1-500            | 500             |                       | 37.5             |           |     |     | 其它工厂生产      |
| BZZ1-630            | 630             |                       | 47.3             |           |     |     | 排量为 500mL/r |
| BZZ1-800            | 800             |                       | 48.0             |           |     |     | 以下的产品       |
| BZZ1-1000           | 1000            | 60                    | 60.0             |           |     |     |             |

续表

| 型 号                 | 公称排量<br>/(mL/r) | 公 称<br>转 速<br>/(r/min) | 公称流量<br>/(L/min) | 最高压力/MPa  |     |     | 生产厂家 |
|---------------------|-----------------|------------------------|------------------|-----------|-----|-----|------|
|                     |                 |                        |                  | 进油口       | 回油口 |     |      |
|                     |                 |                        |                  |           | 连续  | 瞬时  |      |
| BZZ3-50             | 50              | 75                     | 3.8              | 12.5/16.0 | 2.5 | 6.3 |      |
| BZZ3-80             | 80              |                        | 6.0              |           |     |     |      |
| BZZ3-100            | 100             |                        | 7.5              |           |     |     |      |
| BZZ3-125            | 125             |                        | 9.4              |           |     |     |      |
| BZZ3-160            | 160             |                        | 12.0             |           |     |     |      |
| BZZ3-200            | 200             |                        | 15.0             |           |     |     |      |
| BZZ5-50             | 50              | 100                    | 5.0              | 12.5/16.0 | 1.6 | 1.6 |      |
| BZZ5-80             | 80              |                        | 8.0              |           |     |     |      |
| BZZ5-100            | 100             |                        | 10.0             |           |     |     |      |
| BZZ5-125            | 125             |                        | 12.5             |           |     |     |      |
| BZZ5-160 和 BZZ6-160 | 160             |                        | 16.0             |           |     |     |      |
| BZZ5-200 和 BZZ6-200 | 200             |                        | 20.0             |           |     |     |      |
| BZZ5-250 和 BZZ6-250 | 250             |                        | 25.0             |           |     |     |      |
| BZZ5-315 和 BZZ6-315 | 315             |                        | 23.6             |           |     |     |      |
| BZZ5-400 和 BZZ6-400 | 400             |                        | 30.0             |           |     |     |      |
| BZZ5-500 和 BZZ6-500 | 500             |                        | 25.0             |           |     |     |      |
| BZZ5-630 和 BZZ6-630 | 630             |                        | 31.50            |           |     |     |      |
| BZZ5-800            | 800             |                        | 40.0             |           |     |     |      |
| BZZ5-1000           | 1000            | 50.0                   |                  |           |     |     |      |

(B) 结构及工作原理

BZZ系列全液压转向器有开心无反应(BZZ1型)、开心有反应(BZZ2型)、闭心无反应(BZZ3型)、负荷传感无反应(BZZ5型)和负荷传感中卸(BZZ6型)等五种

结构型式。上述转向器的控制阀流道不同,负荷传感型转向器与其它转向器比较增设了负荷传感油口。各型转向器的其它部分相同。图 31.3-17 所示是各种转向器的简化职能符号。

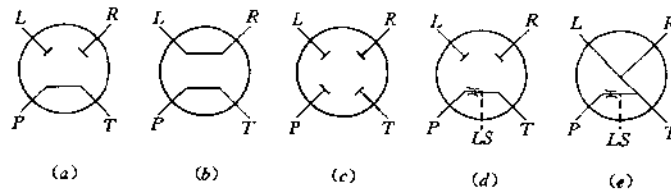


图 31.3-17 BZZ 系列转向器简化职能

(a)开心无反应型;(b)开心有反应型;(c)闭心无反应型;(d)负荷传感无反应型;(e)负荷传感中卸型

BZZ系列转向器主要由转阀式控制阀和摆线计量马达两部分组成(参见图 31.3-18)。控制阀由阀芯 4、阀套 5 和阀体 9 等组成,其上的槽孔形成各种配油窗口,控制阀工作时,通过调节三者间的相对位置,改变配油关系,从而控制了液流方向。计量马达由转子 8 和定子 7(摆线齿轮啮合副)组成,计量马达的转子通过联动轴 6 和拨销 2 与阀套连接。弹簧片组 1 装在阀芯和阀套的槽中,转向器处于中位时,其弹力使阀芯和

阀套对中。设置在进、回油道间的单向阀 3,动力转向时关闭,人力转向时打开,转向液压缸回油腔排出的油液经此单向阀向计量马达(此时已转为泵工况)补油。

下面分别介绍 BZZ 系列各种类型全液压转向器的结构和工作原理。

a. BZZ1 型全液压转向器

方向盘静止时,该型转向器的控制阀阀芯和阀套在弹簧片的作用下处于中间位置,来自泵的油从阀芯

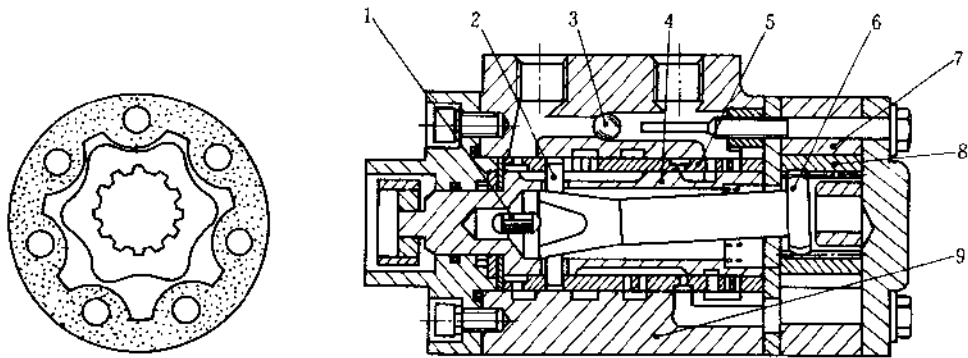


图 31.3-18 BZZ 系列转向器的结构

1—弹簧片组;2—拨销;3—单向阀;4—阀芯;5—阀套;6—联动轴;7—定子;8—转子;9—阀体

和阀套端部两排小孔进入阀芯内腔,并经回油流道流回油箱,转向系统卸荷,见图 31.3-19(a)。

转动方向盘时,阀芯相对阀套转动,关小阀芯与阀套端部两排小孔间形成的中位回油窗口,使系统建立起足够的压力。压力油经串联在油路中的计量马达进入转向缸一侧,推动转向缸的活塞,同时也驱动计量马达的转子旋转。转子借助于联动轴和拨销,带动阀套,使之与阀芯同步旋转,此时各配油窗口的开度取决于方向盘的转速、泵的供油量及负载压力的大小。若方向盘连续转动,转向器以和方向盘转速成正比的流量

连续地供给转向缸,推动转向负载。方向盘停止转动后,中位回油窗口全开,其它配油窗口关闭,系统卸荷。弹簧片组使阀芯和阀套越过死区,严格对中。见图 31.3-19(b)。

泵供油中断时,驾驶员转动方向盘,通过阀芯、拨销和联动轴人力驱动转子转动,此时计量马达变成泵工况。计量马达排出的压力油进入缸工作腔,推动转向缸的活塞,转向缸回油腔排出的油液经单向阀返回计量马达的上游,实现人力转向,见图 31.3-19(c)。

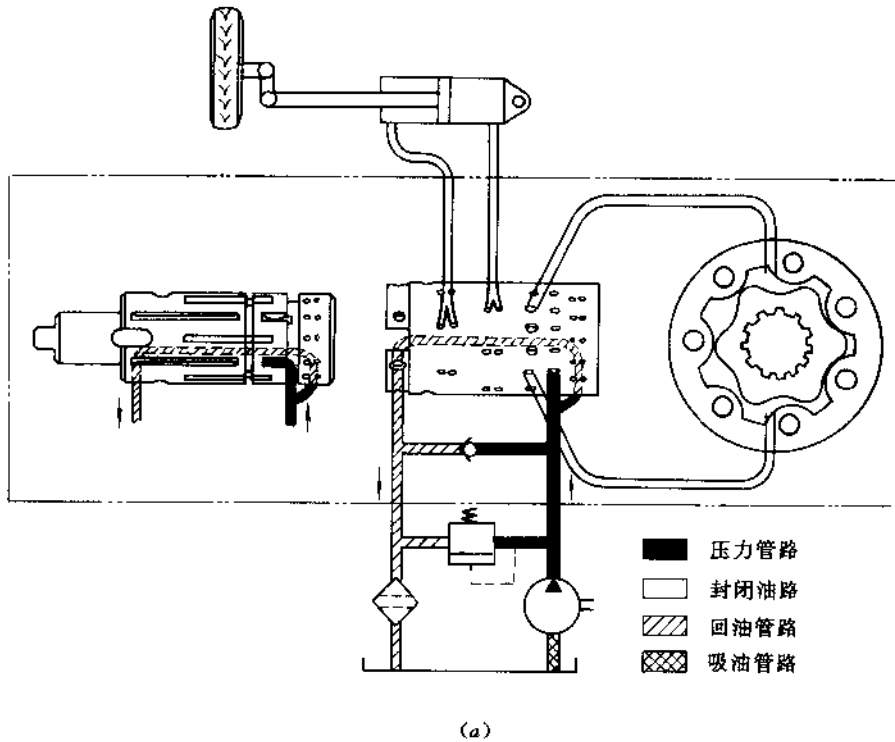
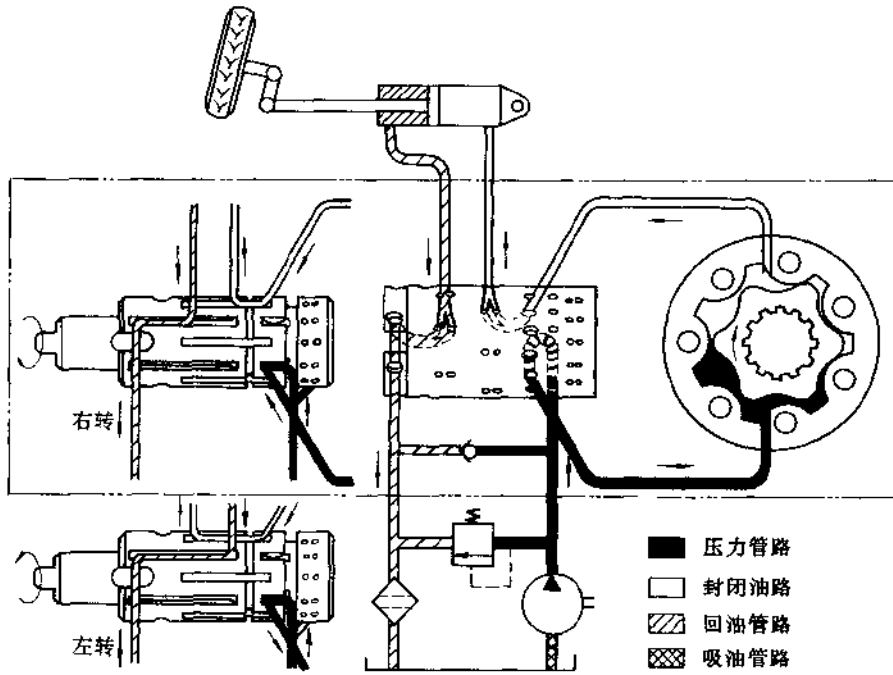
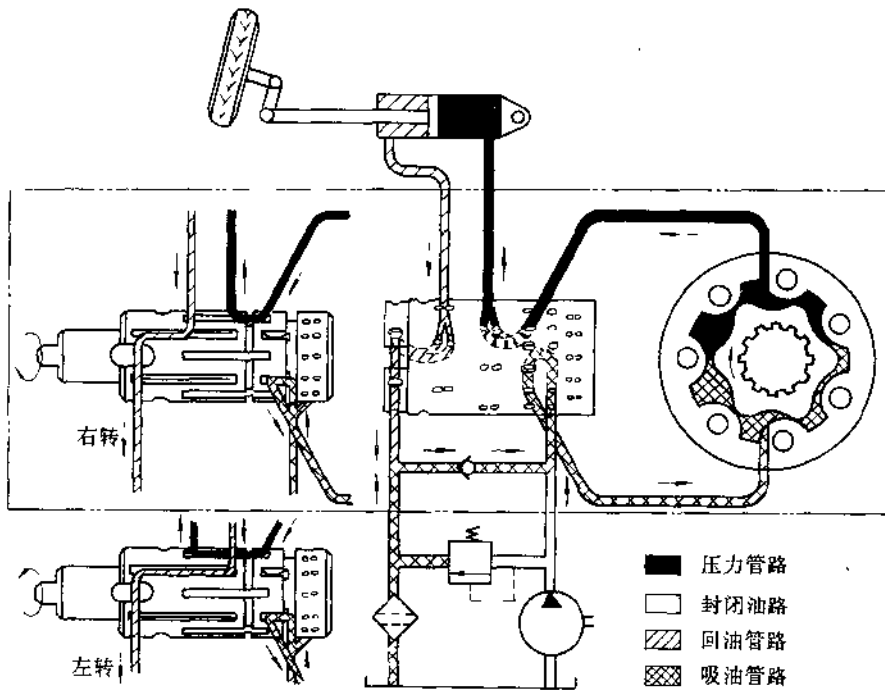


图 31.3-19 离心无反馈型转向器的油流方向 (a)中位



(b)



(c)

图 31.3-19 开心无反应型转向器的液流方向  
(b)动力转向;(c)人力转向

## b. BZZ2 型全液压转向器

BZZ2 型开心有反应转向器和 BZZ1 型开无反应转向器的区别是, 中位时转向缸的两腔分别与计量

马达的上、下游接通。转向缸受到负载作用后, 排出的油液驱动计量马达, 进而带动方向盘旋转, 使驾驶员有所感觉(图 31.3-20)。

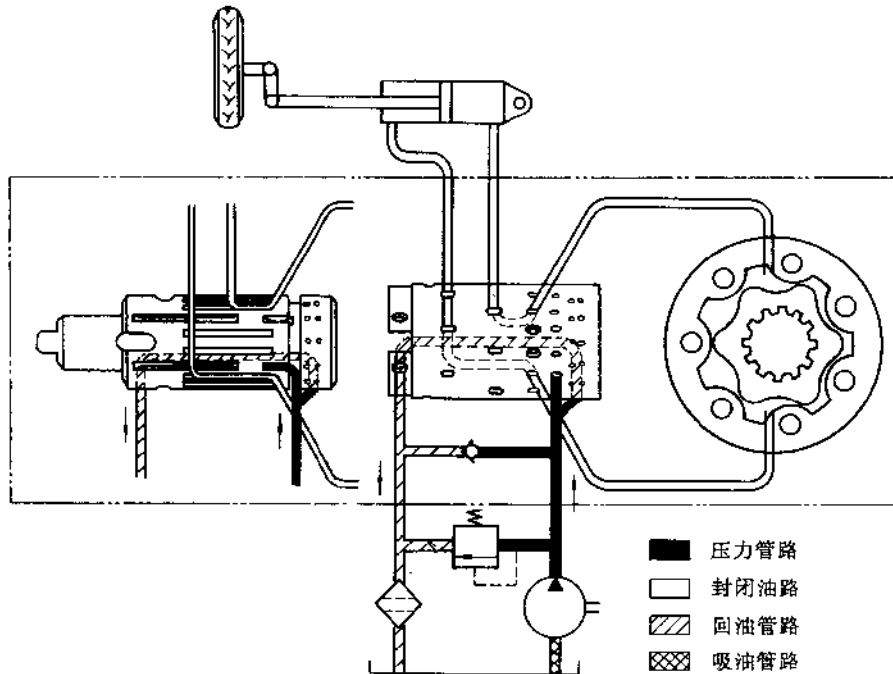


图 31.3-20 开心有反应转向器的液流方向

## c. BZZ3 型全液压转向器

BZZ3 型闭心无反应转向器和 BZZ1 型开无反应转向器的区别是, 控制阀的阀芯和阀套的端部有两排回油小孔。因此中位时动力油不能通过转向器卸荷。

## d. BZZ5 型全液压转向器

BZZ5 型负荷传感全液压转向器和 BZZ1 型转向器的区别是, 阀体上增加了一个负荷传感油口 (LS), 在阀芯与阀套上增设了一个液阻很大的中位节流口 ( $C_0$ ) 和负荷传感节流口 ( $C_1$ )。

BZZ5 型转向器必须和优先阀配套使用, 由定量泵、恒压变量泵或者负荷传感变量泵供油, 组成各种负荷传感液压转向系统。这些系统具有良好的调节特性和明显的节能效果。下面参照图 31.3-21 说明其工作原理。

BZZ5 型液压转向器和转向缸组成一个位置控制系统, 转向缸活塞杆的位移和转向器阀芯角位移成正比。转向器的摆线马达是一个计量装置(熄火转向时起泵作用), 它把分配给转向缸的油液体积量转化为转

向器阀套的角位移, 阀套相对阀芯的角位移决定了配油窗口的开口面积, 方向盘转速越高, 相对角位移越大, 配油窗口面积也越大。方向盘停止转动时, 相对角位移为零, 配油窗口自行关闭, 实现反馈控制, 回位弹簧使阀套越过死区, 使阀芯对中。优先阀是一个定差减压元件, 无论负载压力和泵供油量如何变化, 优先阀均能维持转向器内变节流口  $C_1$  两端的压差基本不变, 保证供给转向器的流量始终等于方向盘转速和转向器排量的乘积。

转向器处于中位时, 如果发动机熄火, 泵不供油, 优先阀的控制弹簧把阀芯推向左位, 接通 CF 油路。发动机启动后, 优先阀分配给 CF 油路的油液, 流经转向器内的中位节流口  $C_0$  产生压降,  $C_0$  两端的压力传到优先阀阀芯的两端, 由此产生的液压力与弹簧力、液动力等平衡, 使阀芯处于一个平衡位置, 由于  $C_0$  的液阻很大, 只要流过很小的流量便可以产生足以推动优先阀阀芯右移的压差, 进一步推动阀芯的右移, 开大 EF 阀口, 关小 CF 阀口, 所以流过 CF 油路的流量很小。



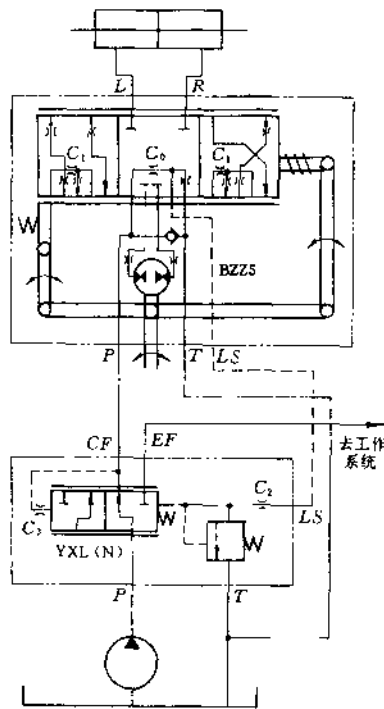


图 31.3-21 由 BZZ5 型转向器组成的负荷  
传感液压转向系统

转动方向盘时,转向器的阀芯与阀套之间产生相对角位移,当角位移达到某值后,中位节流口  $C_0$  完全关闭,油液流经转向器的变节流口  $C_1$  产生压降,  $C_1$  两端的压力传到优先阀阀芯的两端,迫使阀芯寻找新的平衡位置,如果方向盘的转速提高,在变化的瞬间,流过转向器的流量小于方向盘转速与转向器排量的乘积,计量装置带动阀套的转速低于方向盘带动阀芯的转速,结果阀芯相对阀套的角位移增加,变节流口  $C_1$  的开度增加,这时,只有流过更大的流量才能在  $C_1$  两端产生转速变化前的压差,以便推动优先阀阀芯右移,因此优先阀内,接通 CF 油路的阀口开度将随方向盘转速的提高而增大,最终优先阀向转向器的供油量将等于方向盘转速和转向器排量的乘积。

转向缸达到行程终点时,如果继续转动方向盘,油液无法流向转向缸,这时负载压力迅速上升,变节流口  $C_1$  两端的压差却迅速减小,当转向油路压力超过转向安全阀的调定值时,该阀开启,压力油流经节流口  $C_2$ ,产生压降,这个压差传到优先阀阀芯的两端,推动阀芯右移,迫使接通 CF 油路的阀口关小,接通 EF 油路的阀口开大,使转向油路的压力下降。

熄火转向时,计量装置起泵作用,输出的压力油推动转向缸活塞,缸回油腔排出的油液经转向器内的单向阀返回变节流口  $C_1$  的上游。

#### e. BZZ6 型全液压转向器

BZZ6 型转向器与 LF 型流量放大器配套使用,该型转向器结构原理与 BZZ5 型全液压转向器基本相同,区别是,中位时, BZZ5 型转向器封闭通液缸的两个油口,而 BZZ6 型转向器在其内部将两个通缸的油口与回油口连通。

#### (C) 性能参数、外形及连接尺寸

BZZ 系列全液压转向器的主要性能参数如下:

正常工作温度:  $+30 \sim +60^\circ\text{C}$

允许油温范围:  $-30 \sim +90^\circ\text{C}$

正常工作粘度:  $17 \sim 23\text{cst}$

允许粘度范围:  $10 \sim 300\text{cst}$

滤油精度:  $6 \sim 40\mu\text{m}$

最大动力转向转矩:  $5\text{N}\cdot\text{m}$

方向盘自由转角:  $2^\circ 20' \sim 9^\circ 30'$  (开心式)

$3^\circ 11'$  (闭心式和负荷传感式)

其它性能参数见表 31.3-4。

BZZ 系列全液压转向器的外形及连接尺寸见图 31.3-22。

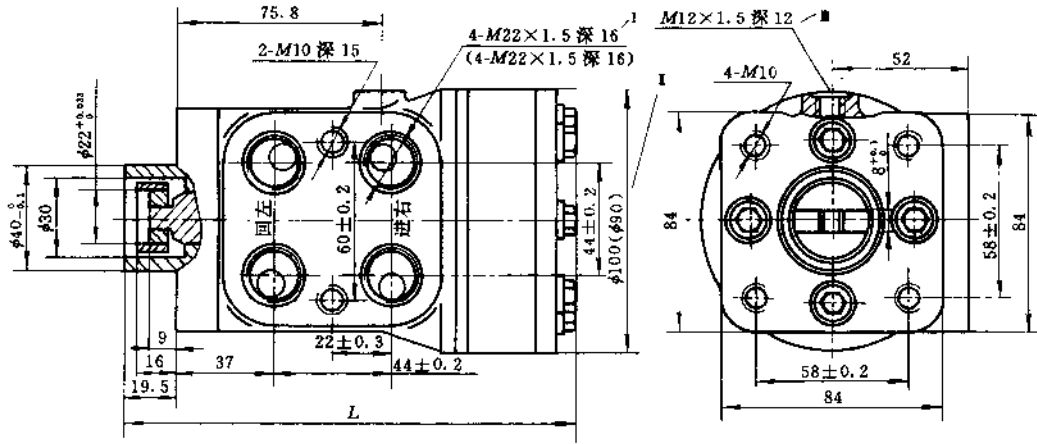
#### B. BZF 系列和 YZQ 系列全液压转向器

济宁伊顿液压有限公司生产的 BZF 系列产品和黑龙江液压件厂生产的 YZQ 系列产品是将溢流阀、双向缓冲补油阀和进油口单向阀等加装在 BZF 系列产品的阀体之中,形成一种结构紧凑、多功能的新系列产品,其排量为  $80 \sim 400\text{mL/r}$ ,最大入口压力为  $12.5\text{MPa}$ ,其它性能参数以及连接尺寸与 BZZ 系列产品相同,可替代 BZZ 系列产品使用。图 31.3-23 是其液压原理图。

#### C. BZZ1F 系列和 TLF1 系列全液压转向器

中国农机院开发的 BZZ1F 系列和 TLF1 系列产品自身具有流量放大能力和非线性转速—流量特性,因此排量大、体积小,流量特性符合驾驶员的操纵习惯。其中 BZZ1F 系列产品属开心无反应类型,TLF1 系列产品属负荷传感无反应类型。图 31.3-24 是上述产品的液压原理图和简化职能符号,图中黑线部分为放大油路,表 31.3-5 给出了上述产品的主要性能参数。

上述产品的连接尺寸与 BZZ 系列产品相同, BZZ1F 系列产品可代替 BZZ1 型产品使用, TLF1 系列产品可代替 BZZ5 型产品使用。



|     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| BZZ | 50  | 80  | 100   | 125   | 160   | 200   | 250   | 315   | 400   | 500   | 630   | 800   | 1000  |
| L   | 154 | 158 | 160.5 | 163.5 | 168.5 | 173.5 | 179.5 | 189.5 | 199.5 | 211.5 | 237.5 | 257.5 | 281.5 |

- ① I 处括号内、外可任选；
- ② II 处括号内的尺寸用于拉制定了；
- ③ III 处仅负荷传感转向器有此口；
- ④ 图示外形尺寸仅供参考，见各生产厂家样本。

图 31.3-22 BZZ 系列全液压转向器的外形及连接尺寸

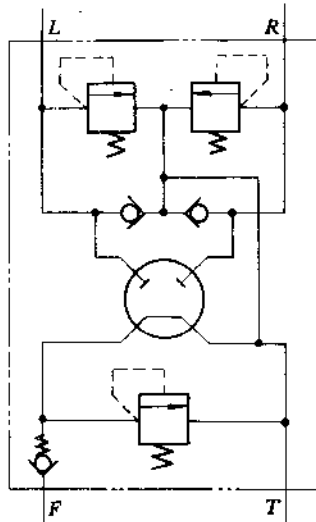


图 31.3-23 HZF 系列和 YZQ 系列产品的液压原理图

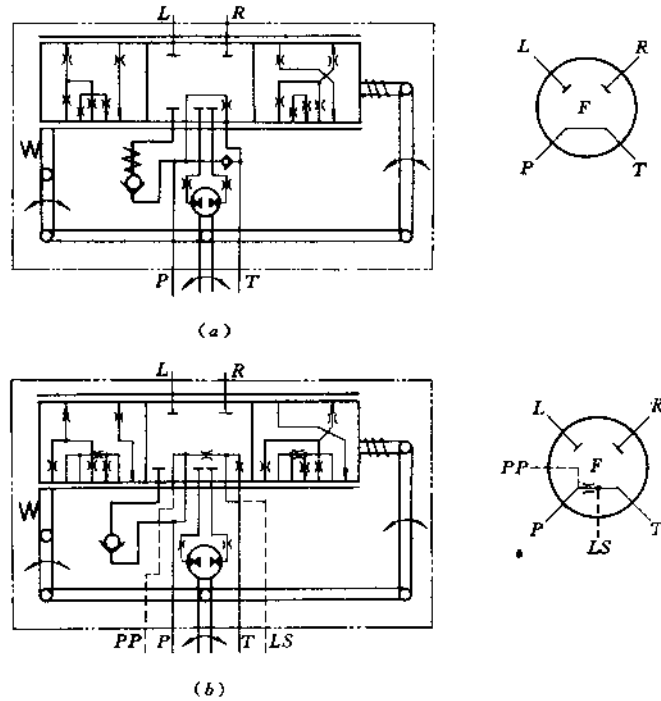


图 31.3-24 具有流量放大能力的全液压转向器液压原理图  
(a)BZZ1F 系列产品;(b)TLF 系列产品

表 31.3-5 BZZ1F 和 TLF1 系列全液压转向器的主要性能参数

| 参 数<br>型 号  | 最大<br>放大<br>倍数 | 公称<br>排量<br>/(mL/r) | 公称转速<br>/(r/min) | 最高入口<br>压力<br>/MPa | 额定工作<br>压力<br>/MPa | 最高背压<br>/MPa | 最大动力<br>转向力矩<br>/(N·m) |
|---|----------------|---------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|------------------------|
| BZZ1F-630<br>TLF1-630   | 2.5            | 630                 | 60               | 16                 | 14                 | 1.6          | 5                      |
| BZZ1F-800<br>TLF1-800   |                | 800                 |                  |                    |                    |              |                        |
| BZZ1F-1000<br>TLF1-1000   |                | 1000                |                  |                    |                    |              |                        |
| BZZ1F-1250<br>TLF1-1250   |                | 1250                |                  |                    |                    |              |                        |
| TLF1-1600   |                | 1600                |                  |                    |                    |              |                        |
| 说明:北京金轮特种行走机械开发公司生产的 BZZ1F 型转向器<br>中国农机院液压件厂和镇江液压件总厂生产的 TLF1 型转向器 |                |                     |                  |                    |                    |              |                        |

D.LF型流量放大器

镇江液压件总厂生产的LF型流量放大器由优先阀、方向阀和双向缓冲补油阀等组成,它和BZZ6型全液压转向器等液压元件组成负荷传感液压转向系统。

图 31.3-25 是该产品的液压原理图和液压转向系统图。

图 31.3-26 是该产品的外形及连接尺寸图,表 31.3-6 给出了该产品的主要性能参数。

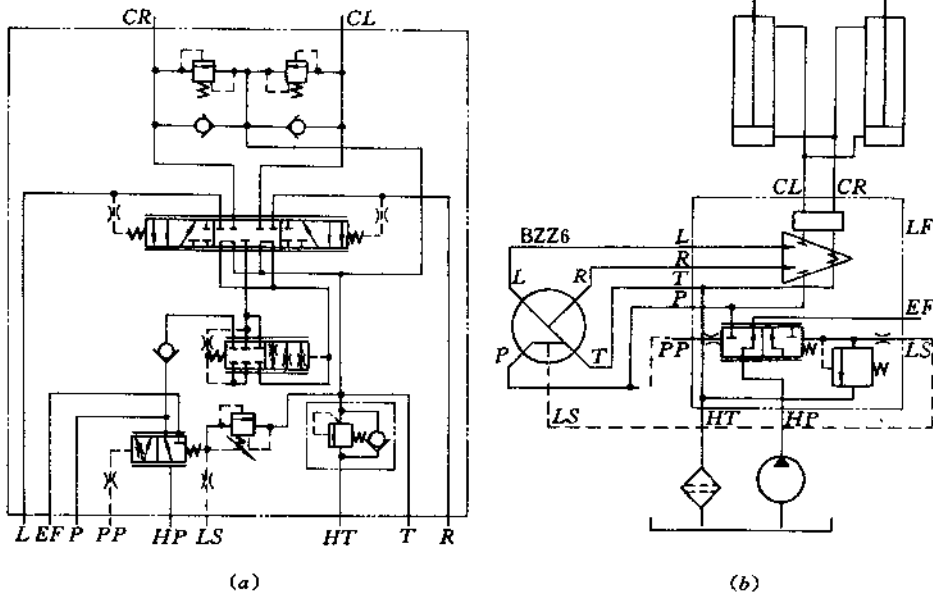


图 31.3-25 LF型流量放大器的液压原理图以及组成的液压转向系统图  
(a)LF型流量放大器液压原理图;(b)液压转向系统图

表 31.3-6 LF型流量放大器的主要性能参数

| 型号  | BZZ6型转向器排量/(mL/r) |               |              |               | 大入口流量<br>/(L/min) | 转向安全阀<br>最大调定压力<br>/MPa | 双向缓冲阀<br>最大调定压力<br>/MPa | 背压阀<br>开启压力<br>/MPa |
|-----|-------------------|---------------|--------------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
|     | 200               | 250           | 315          | 400           |                   |                         |                         |                     |
|     | 流量放大器总排量/(mL/r)   |               |              |               |                   |                         |                         |                     |
| LF5 | 1000<br>(60)      | 1250<br>(75)  | 1575<br>(95) | 2000<br>(120) | 250               | 16                      | 22                      | 0.5                 |
| LF8 | 1600<br>(96)      | 2000<br>(120) |              |               |                   |                         |                         |                     |

说明:1. 括号中为该规格转向系统的公称流量 L/min  
2. 辅助系统(EF11)最大工作压力为 20MPa  
3. 优先阀弹簧控制压力为 0.7MPa

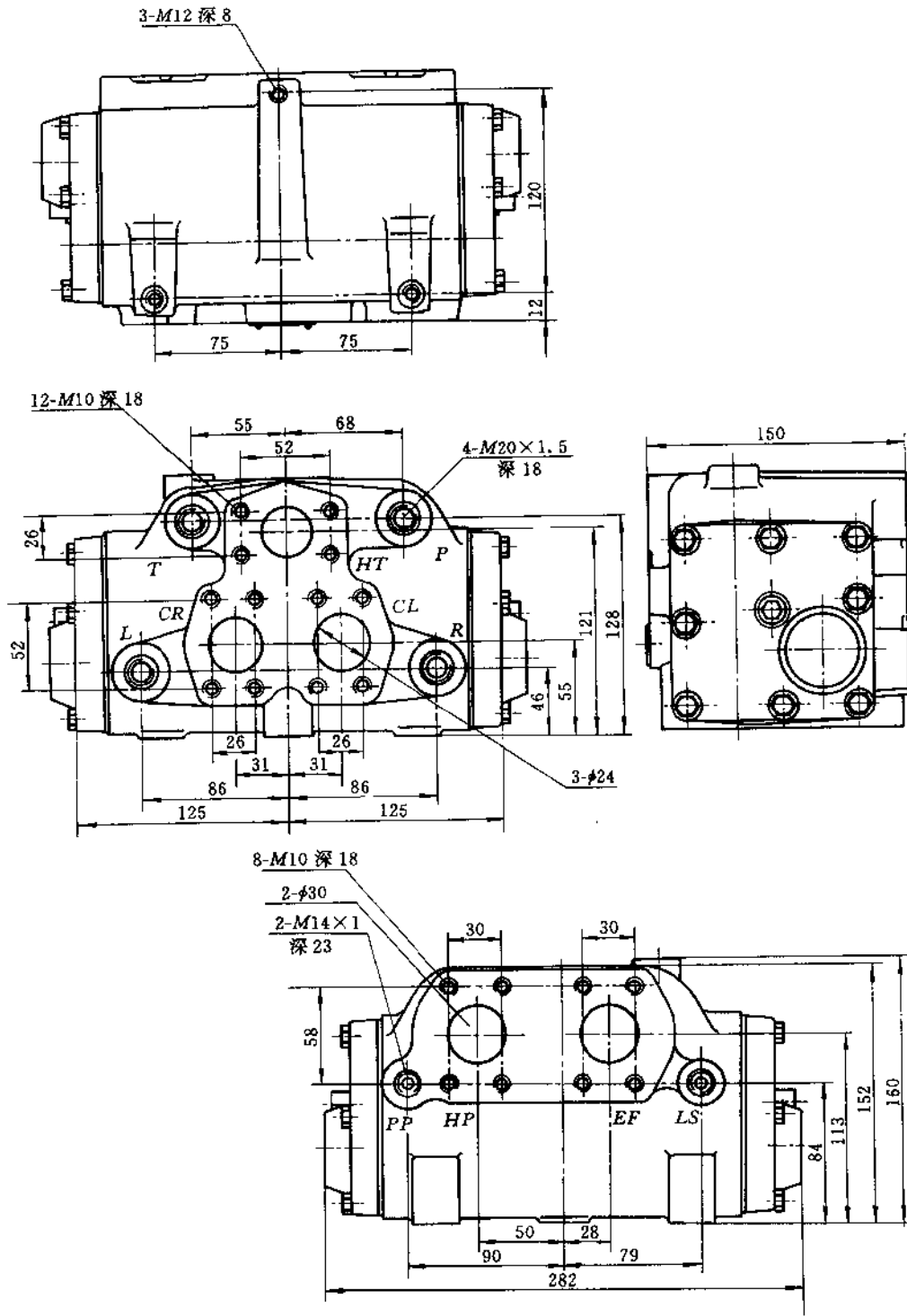


图 31.3-26 LF 型流量放大器外型及连接尺寸

## E. 全液压转向器的配套液压元件

## (A) FK 系列阀块

FK 系列阀块是为 BZZ 系列、BZZ1F 系列和 TLF1 系列全液压转向器配套的多功能集成的液压元件,可以直接安装在上述产品的阀体法兰上。该系列产品有五种基本型号。

## (a) 型号说明

FK \* \* \* \* \*

① ② ③ ④ ⑤ ⑥

## ① 阀块

## ② 阀块功能

A——块中含单向阀、溢流阀、双向缓冲阀、双向补油阀

B——块中含单向阀、双向缓冲阀、双向补油阀

C——块中含单向阀、溢流阀和双向缓冲阀

D——块中含单向阀、双向缓冲阀

E——块中含单向阀、溢流阀

## ③ 阀块型式

方形——不标

T 形——2

## ④ 溢流阀最高调定压力 MPa

C——6.3

D——10

E——16

## ⑤ 公称流量 L/min

## ⑥ 双向缓冲阀调定压力 MPa

## (b) 工作原理

阀块液压工作原理见图 31.3-27。

## (c) 性能参数

FK 系列阀块主要性能参数见表 31.3-7。

表 31.3-7 FK 系列阀块的主要性能参数

| 型 号                      | 公称流量<br>(L/min) | 溢流阀最大调定压力<br>/MPa | 双向缓冲阀最大调定压力<br>/MPa | 生产厂家                             |
|--------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|----------------------------------|
| FKA-C30-10<br>FKC-C30-10 | 30              | 6.3               | 10                  | 邹城市鲁南通用机械厂<br>镇江液压件总厂<br>黑龙江液压件厂 |
| FKB-30-10<br>FKD-30-10   |                 |                   |                     |                                  |
| FKE-C30                  |                 | 6.3               |                     |                                  |
| FKA-D30-15<br>FKC-D30-15 | 30              | 10                | 15                  |                                  |
| FKB-30-15<br>FKD-30-15   |                 | -                 |                     |                                  |
| FKE-D30                  |                 | 10                |                     |                                  |
| FKA-E30-20<br>FKC-E30-20 | 30              | 16                | 20                  |                                  |
| FKB-30-20<br>FKD-30-20   |                 | -                 |                     |                                  |
| FKE-E30                  |                 | 16                |                     |                                  |

## (d) 外形尺寸及连接尺寸

见图 31.3-28。

## (B) FLD 型单稳分流阀

FLD 型单稳分流阀是为开心式全液压转向器提供恒定流量的液压元件,它分为恒流型和分流型两种

结构,前者的功能是,当油泵供油量变化时,优先保证供给转向系统恒定流量,剩余部分直接回油箱,后者的剩余流量可供给工作系统,内含安全阀的回油接油箱。图 31.3-29 是其液压原理图。图 31.3-30 是其外型及连接尺寸图,表 31.3-8 给出了主要性能参数。

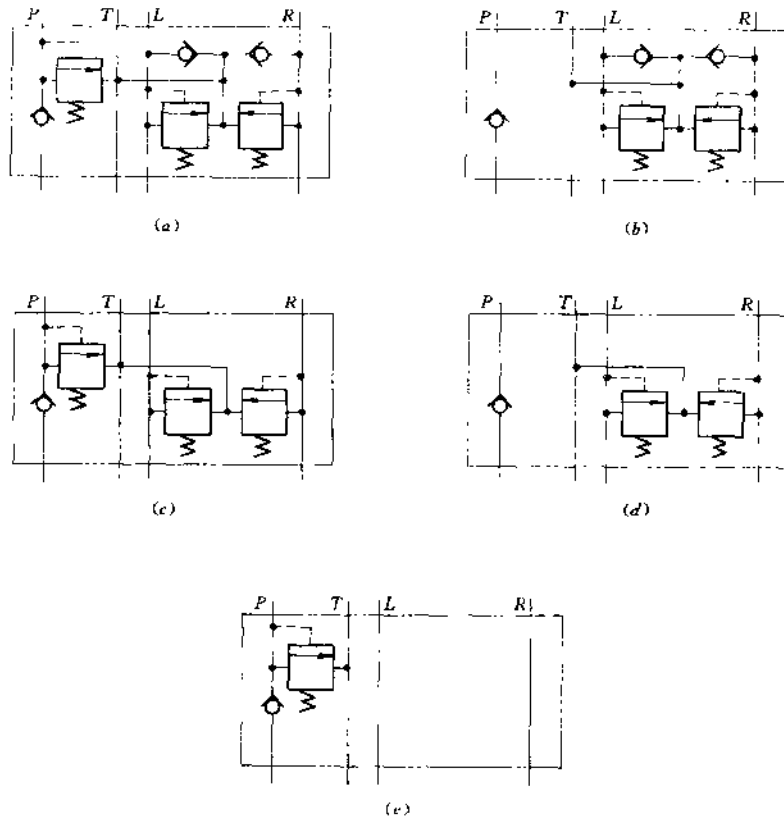


图 31.3-27 FK 系列阀块的液压原理图

(a)FKA 型阀块;(b)FKB 型阀块;(c)FKC 型阀块;(d)FKD 型阀块;(e)FKE 型阀块

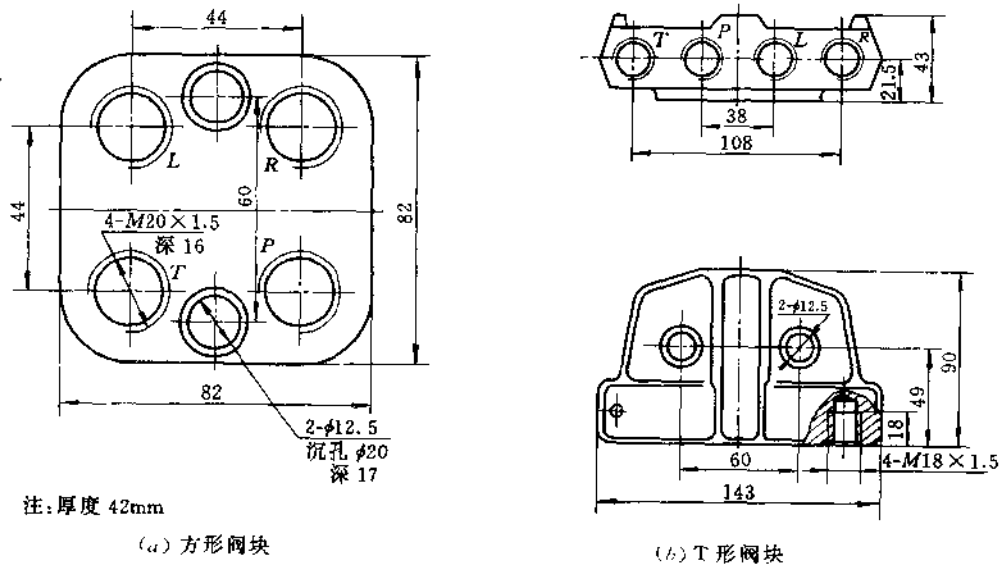


图 31.3-28 FK 系列阀块的外形及连接尺寸

(a) 方形阀块;(b) T 形阀块

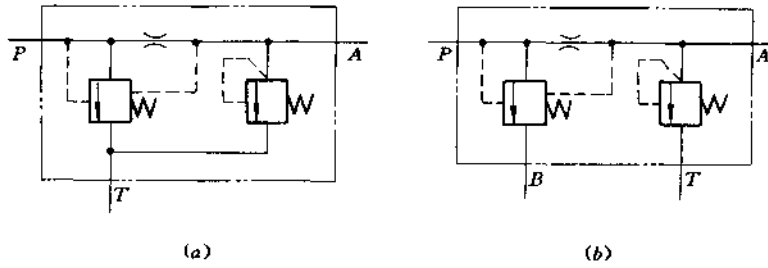
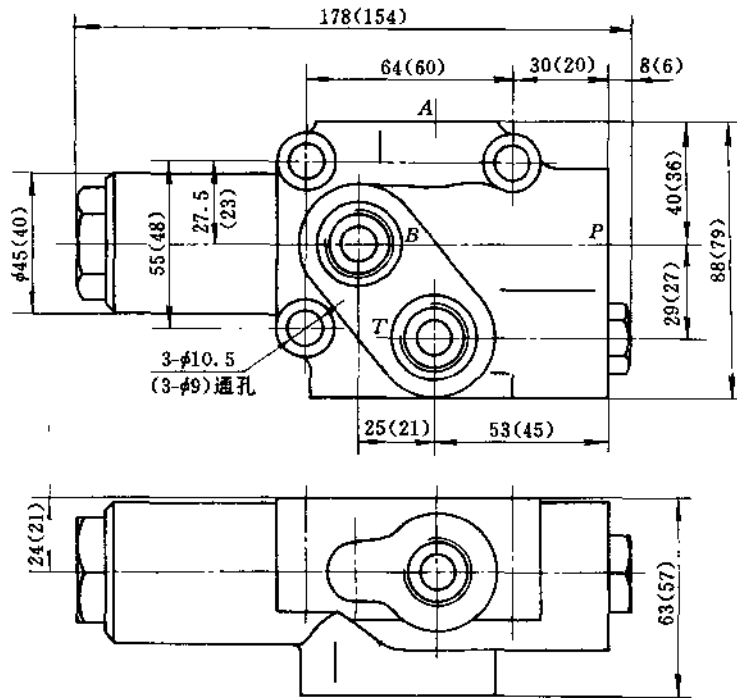


图 31.3-28 FLD 型单稳分流阀的液压原理图  
(a)恒流型;(b)分流型



注:括号内尺寸数字适用于 FLD-D(6-15);括号外尺寸数字适用于 FLD-D(19-30)

| 油口           | P       | A       | B       | T       |
|--------------|---------|---------|---------|---------|
| 型号           |         |         |         |         |
| FLD-D(6-15)  | M24×1.5 | M20×1.5 | M20×1.5 | M20×1.5 |
| FLD-D(19-30) | M27×1.5 | M24×1.5 | M24×1.5 | M24×1.5 |

图 31.3-30 FLD 型单稳分流阀的外形及连接尺寸



表 31.3-8 FLD 系列单稳分流阀的主要性能参数

| 型号        | 公称稳定流量<br>/(L/min) | 最大入口流量<br>/(L/min) | 稳定流量<br>流量变化率<br>/(%) | 压力损失<br>/MPa | 公称压力<br>/MPa  | 安全阀<br>调定压力<br>/MPa | 生产厂家  |
|-----------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---|
| FLD-□6L   | 6                  | 80                 | ≤15                   | ≤0.5         | 10<br>(FLD-D) | 4—公称压力              | 丹徒县机械液压件厂<br>邹城市鲁南通用机械厂<br>中国农机院液压件厂<br>镇江液压件总厂 |
| FLD-□7.4L | 7.5                |                    |                       |              |               |                     |   |
| FLD-□9.5L | 9.5                |                    |                       |              |               |                     |   |
| FLD-□12L  | 12                 | 160                | ≤20                   | ≤1.0         | 16<br>(FLD-E) |                     |   |
| FLD-□15L  | 15                 |                    |                       |              |               |                     |   |
| FLD-□19L  | 19                 |                    |                       |              |               |                     |   |
| FLD-□24L  | 24                 |                    |                       |              |               |                     |   |
| FLD-□30L  | 30                 |                    |                       |              |               |                     |   |
| FLD-□40L  | 40                 |                    |                       |              |               |                     |   |
| FLD-□50L  | 50                 |                    |                       |              |               |                     |   |
| FLD-□60L  | 60                 |                    |                       |              |               |                     |   |

说明:分流型表示为 FLD-□□L;恒流型在末尾加 H 或 Z,例如,FLD-□□L-H

(C) IWFL 型单稳分流阀

图 31.3-31 是其外形及连接尺寸,表 31.3-9 给

IWFL 型单稳分流阀的功能和用途与 FLD 型产品相同,但仅有分流型。出了其主要性能参数。

表 31.3-9 1WFL 系列单稳分流阀的主要性能参数

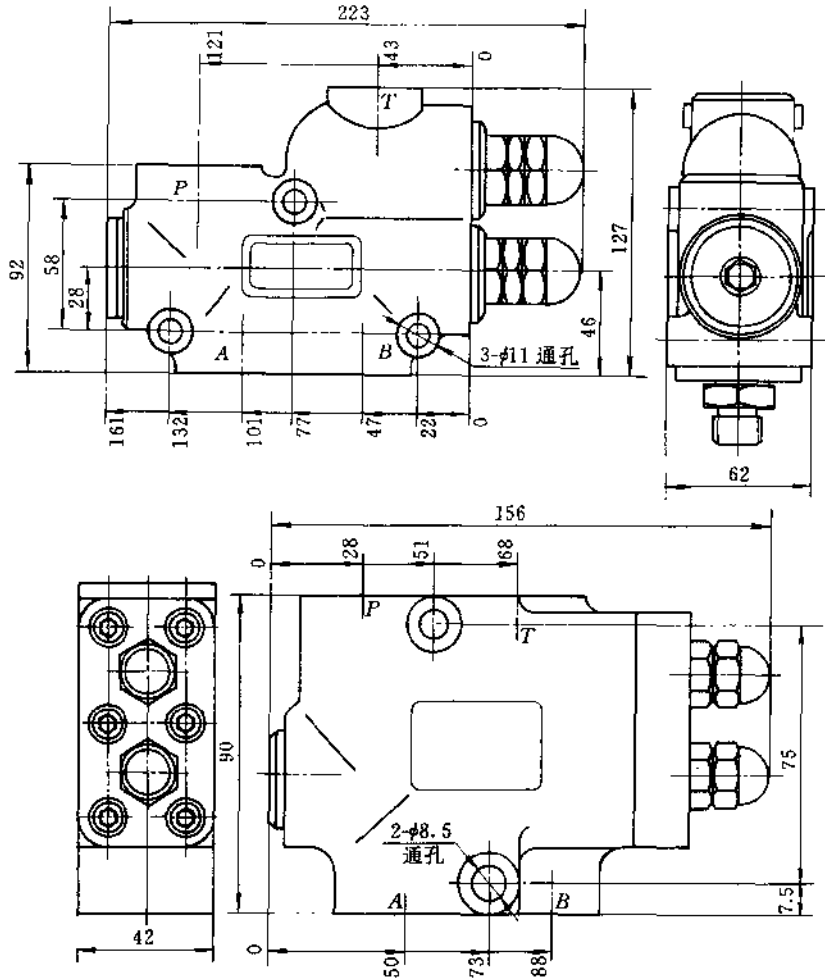
| 型号        | 公称稳定流量<br>/(L/min) | 最大入口流量<br>/(L/min) | 稳定流量<br>流量变化率<br>/(%) | 压力损失<br>/MPa | 公称压力<br>/MPa | 安全阀<br>调定压力<br>/MPa | 生产厂家                               |
|-----------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------|------------------------------------|
| 1WFL-F10L | 10                 | 80                 | ≤15                   | ≤0.5         | 20           | 6.3~16              | 丹徒县机械液压件厂<br>镇江液压件总厂<br>邹城市鲁南通用机械厂 |
| 1WFL-F12L | 12                 |                    |                       |              |              |                     |                                    |
| 1WFL-F15L | 15                 |                    |                       |              |              |                     |                                    |
| 1WFL-F16L | 16                 | 160                | ≤15                   | ≤1.0         | 20           | 6.3~16              |                                    |
| 1WFL-F20L | 20                 |                    |                       |              |              |                     |                                    |
| 1WFL-F25L | 25                 |                    |                       |              |              |                     |                                    |
| 1WFL-F40L | 40                 |                    |                       |              |              |                     |                                    |
| 1WFL-F50L | 50                 |                    |                       |              |              |                     |                                    |
| 1WFL-F60L | 60                 |                    |                       |              |              |                     |                                    |

(D) YXL 型优先阀

YXL 型优先阀可与 BZZ5 型转向器组成负荷传感液压转向系统。YXL 型优先阀分内控与外控两种控制方式,前者仅一根控制油管,而后者则需用两根,因此,通常选用内控形式,当转向流量较大或从优先阀到转向器的距离较远时,建议选用外控形式,以便获得较快的动态响应和较大的方向盘最高转速。YXL 型优

先阀有三种控制压力,较小的控制压力有利于减少系统的压力损失,较高的控制压力有利于加快动态响应和获得较大的方向盘最高转速。

图 31.3-32 是两种控制方式的优先阀的液压原理图。图 31.3-33 是其外形及连接尺寸。表 31.3-10 给出了其主要性能参数。



| 接 口            | P       | A       | B                | T       |
|----------------|---------|---------|------------------|---------|
| 型 号            |         |         |                  |         |
| IWFL-F(10-15)L | M22×1.5 | M22×1.5 | M18×1.5          | M18×1.5 |
| IWFL-F(16-60)L | M33×2   | M33×2   | M22×1.5<br>M33×2 | M22×1.5 |

图 31.3-31 IWFL 型单稳分流阀的外形及连接尺寸

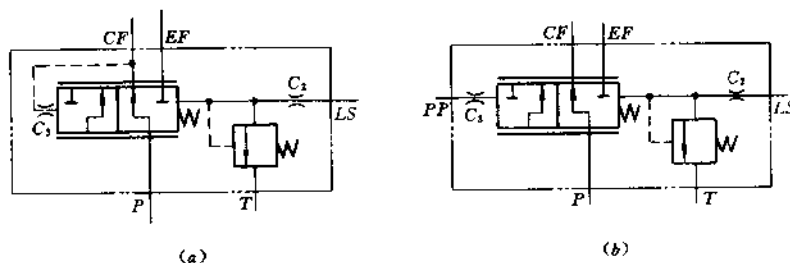
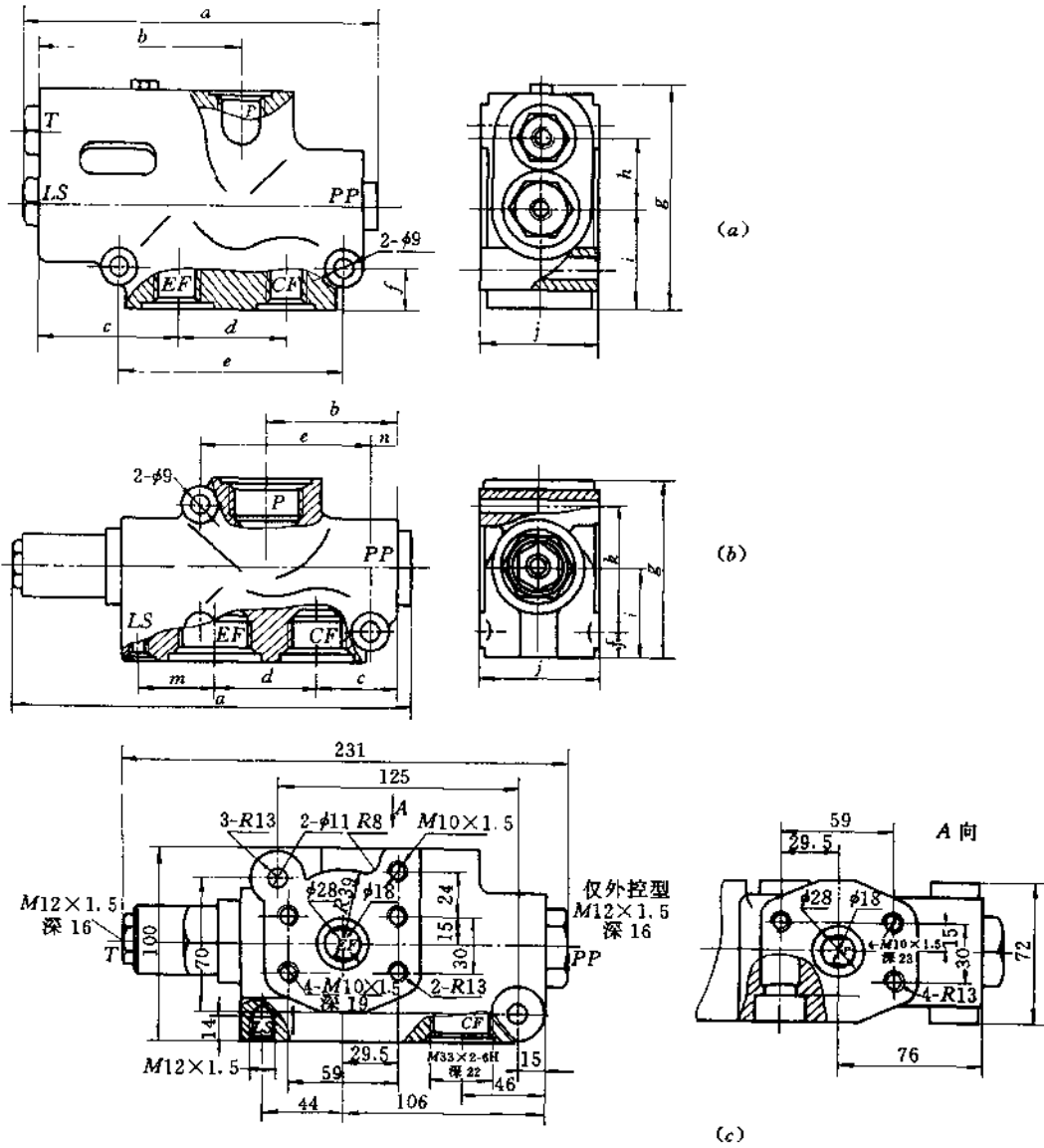


图 31.3-32 优先阀液压原理图

(a)内控型;(b)外控型

表 31.3-10 优先阀的主要性能参数

| 型 号                                  | 控制方式     | 控制压力 /MPa | 最大入口流量 /(L/min) | 最大入口压力 /MPa | 转向安全阀开启压力 /MPa      | 生产厂家   |
|--------------------------------------|----------|-----------|-----------------|-------------|---------------------|--|
| YXL-F80L-N 4.5<br>YXL-F80L W 4.5     | 内控<br>外控 | 0.45      | 80              | 20          | 6.3~16(出厂时根据用户要求调定) | 牙徒县机械液压件厂<br>邹城市鲁南通用机械厂<br>中国农机院液压件厂<br>镇江液压件总厂<br>济宁伊顿液压有限公司<br>北京液压件四厂 |
| YXL-F80L-N 7<br>YXL-F80L W 7         | 内控<br>外控 | 0.7       |                 |             |                     |  |
| YXL-F80L-N 10.5<br>YXL-F80L W 10.5   | 内控<br>外控 | 1.05      |                 |             |                     |  |
| YXL-F160L-N 4.5<br>YXL-F160L W 4.5   | 内控<br>外控 | 0.45      | 160             |             |                     |  |
| YXL-F160L-N 7<br>YXL-F160L W 7       | 内控<br>外控 | 0.7       |                 |             |                     |  |
| YXL-F160L-N 10.5<br>YXL-F160L W 10.5 | 内控<br>外控 | 1.05      |                 |             |                     |  |
| YXL-F250L-N 4.5<br>YXL-F250L W 4.5   | 内控<br>外控 | 0.45      | 250             |             |                     |  |
| YXL-F250L-N 7<br>YXL-F250L W 7       | 内控<br>外控 | 0.7       |                 |             |                     |  |
| YXL-F250L-N 10.5<br>YXL-F250L W 10.5 | 内控<br>外控 | 1.05      |                 |             |                     |  |



(a)YXL-F80L 及 YXL-F160L;(b)YXL-F250L;(c)YXL-F250F

LS, T 油口 M12×1.5 深 14    PP 油口 M12×1.5 (仅外控型有)

| 型号        | a   | b    | c  | d  | e   | f  | g   | h  | i  | j  | k  | m  | n  | P               | EF              | CF              |
|-----------|-----|------|----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|-----------------|-----------------|-----------------|
| YXL-F80L  | 140 | 80.5 | 63 | 35 | 80  | 15 | 95  | 30 | 40 | 45 |    |    |    | M22×1.5<br>深 22 | M22×1.5<br>深 22 | M18×1.5<br>深 22 |
| YXL-F160L | 176 | 100  | 70 | 53 | 110 | 20 | 110 | 35 | 50 | 60 |    |    |    | M27×2<br>深 22   | M27×2<br>深 22   | M22×1.5<br>深 22 |
| YXL-F250L | 231 | 76   | 40 | 60 | 100 | 15 | 100 |    | 50 | 70 | 70 | 44 | 15 | M42×2<br>深 22   | M42×2<br>深 22   | M33×2<br>深 22   |

图 31.3-33 优先阀的外型及连接尺寸

### 31.4 液压无级变速装置

液压无级变速装置以连续旋转的运动形式在原动机和工作机之间传递能量。它的输出元件是定量或变量的液压马达。

液压无级变速装置最早运用在舰艇的火控系统,以后又推广到军用飞机和装甲车辆等武器系统。二次大战后,随着液压泵和马达结构型式的发展,这一新的传动技术在民用设备中也得到推广。

液压无级变速装置不但具有良好的无级变速性能和灵活布局的特点,而且可以进行多种多样的调节和控制。尤其是与电子技术相结合,使人们有可能开发出一些形态上和性能上独具特色的设备,现在其应用范围仍在不断扩大。为了避免与液力传动相混淆,在行走机械领域中,通常又称其为“静液压无级变速装置。”

#### 31.4.1 液压无级变速装置的基本特性

液压无级变速装置的基本组成部分是输入端的液压泵、输出端的液压马达,两者之间为联接管道以及油箱和调节装置(图 31.4-1)。液压泵一般是变量的,马达则可以是定量或变量的。装置的基本工作原理是:由原动机以输入转速  $n_1$  和输入转矩  $M_1$  所体现的机械能,在液压泵上转化为体积流量  $Q$  和压差  $\Delta p$  所表征的液压能,后者在液压马达上又重新转化为由输出转速  $n_2$  和输出转矩  $M_2$  所体现的机械能。当把液压无级变速装置本身视为一个整体时,则有关液压的各参量都只发生在其内部,外部与原动机和工作机相联系的仅是机械参量(转速和转矩)。

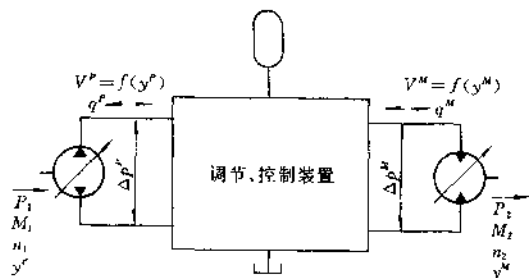


图 31.4-1 液压无级变速装置的基本组成  
(脚码 1 表示输入参数;脚码 2 表示输出参数;  
P 表示泵参数;M 表示马达参数)

液压无级变速装置的输入、输出功率均可用相应的转速及转矩乘积来表示,其效率  $\eta_T^B$  可由下式计算:

$$\eta_T^B = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 n_2}{M_1 n_1}$$

式中  $P_1$ ——输入功率;

$P_2$ ——输出功率。

本节所讨论的液压无级变速装置主要用于动力传动,基于效率方面的考虑,它们均不采用节流调节,主要的调节参数是变量泵和变量马达的变排比,它等于该元件的实时排量 and 可能达到的最大排量之比(图 31.4-1):

$$y^P = \frac{V^P}{V_{\max}^P}$$

$$y^M = \frac{V^M}{V_{\max}^M}$$

式中  $y^P$ ——液压泵变排比;

$V^P$ ——液压泵实时排量;

$y^M$ ——液压马达变排比;

$V^M$ ——液压马达实时排量;

$V_{\max}^P$ ——液压泵最大排量;

$V_{\max}^M$ ——液压马达最大排量。

#### (1) 输出特性

装用液压无级调速装置的目的一般都是为了使工作机在负荷下获得预期的转速  $n_2$ 。大多数使用场合要求在  $n_1$  相对恒定的条件下能连续调节  $n_2$  的大小和方向。只有飞机和某些风力机上用以驱动发电机的恒速驱动装置等少数情况相反,要求在  $n_1$  不断变化时,  $n_2$  能保持恒定。

任何一个液压无级变速装置所能输出的转速  $n_2$  和转矩  $M_2$  以及它们的乘积功率  $P_2$  的范围均是有限的,构成这一可运行区域的边界称为该装置的输出包线。图(31.4-2)示出在  $n_1-M_1$  坐标系第一象限中液压无级变速装置的典型输出包线。当忽略装置的能量损失时,该包线由下述几部分组成:

(A) 对应于  $M_{2\max}$  的最大输出转矩线  $AB$ 。  $M_{2\max}$  由装置中液压马达的最大排量  $V_{\max}^M$  和马达的最高工作压力  $\Delta p_{\max}^M$  的乘积决定。在理想情况下  $M_{\max}$  与  $n_1$  无关,因此  $AB$  是一条水平线。

(B) 对应于  $n_{2\max}$  的最高输出转速线  $CD$ 。  $n_{2\max}$  由下面两个转速中的较小者决定:

- 装置中液压马达的许用最高转速;
- 装置中液压泵提供的流量使马达能达到的最高转速。

在理想情况下,  $n_{2\max}$  不随  $M_1$  变化, 所以  $CD$  是一条垂直线。

(C) 对应于最大输出功率  $P_{1\max}$  的  $BC$  线。它由下列两个因素中较小者决定:

- 装置中液压泵的最大许用功率;
- 装置中液压马达的最大许用功率。

由于输出功率是输出转速和转矩的乘积, 因此在  $n_1-M_1$  坐标系中, 恒功率曲线是一族双曲线。在极限情况下,  $n_2$  和  $M_2$  同时达到最大值, 其工作点在图 31.4-2 中  $AB$  和  $CD$  两直线的交点  $E$  处,  $E$  点对应的功率  $P_L$  代表了这一液压无级变速装置所能传输的功率极限, 称为角功率。通常情况下, 最大功率线  $BC$  是一条远离  $E$  点的双曲线。

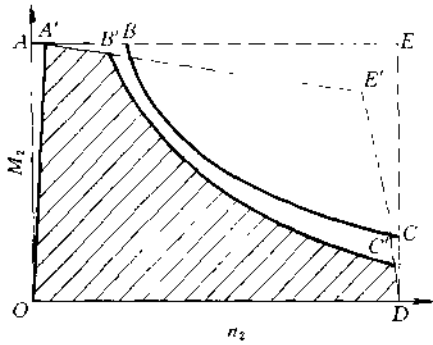


图 31.4-2 液压无级变速装置的典型输出包线

实际的液压无级变速装置都是有功率损失的。装置中液压介质的泄漏(容积损失)表现为  $n_2$  随  $M_2$  的增加而下降。液压元件中的机械损失和介质的流动损失表现为  $M_2$  随  $n_2$  的上升而减小。此外, 由于液压马达中零件间的静摩擦力较高, 某些接触区的局部变形以及不均匀的泄漏, 使它在很低的转速下不能正常运转而出现一个死区, 该死区随  $M_2$  的增加而加宽。这些因素使装置的实际输出包线偏离到  $OA'B'C'D$ 。图中绘有影线的部分即为实际能运行的范围。

许多工作机要求液压无级变速装置不仅能调速, 而且能改变输出转速和转矩的方向, 并且应在必要时能由输出端向输入端逆向传输制动能量。装有适当的液压泵和马达及采用合理油路的液压无级变速装置是

能够满足这些要求的。图 31.4-3 示出它在  $n_2-M_2$  坐标系中所有四个象限中的输出包线。 $n_2$  的正负表示转向的不同;  $M_2$  为负值的 III、IV 象限意味着装置由工作机吸收能量(制动或贮能运行), 所以考虑效率以后的运行区(虚线)可能超出理论的范围(实线)①。另一方面, 由于泄漏、润滑等方面的限制, 液压元件作为泵运行时的低速死区比作为马达时更宽。通过改进元件的结构可以在一定程度上减小低速死区。最近出现的“用户端调节”的恒压系统则使液压无级变速装置能在四个象限中运行而不出现死区。

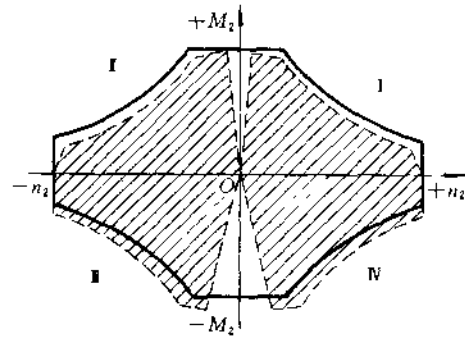


图 31.4-3 在四个象限中的输出包线

以上分析表明, 尽管存在着结构和性能方面的一些限制, 但液压无级变速装置的可运行范围仍然是相当宽广的, 对各种不同的负荷及原动机有着良好的适应性。

#### (2) 输入特性

图 31.4-4 示出  $n_2-M_2$  坐标系表示的液压无级变速装置的输入包线, 它的组成部分与上述输出包线相类似, 只是  $M$  的方向相反, 正值表示装置吸收功率, 负值则表示向原动机回馈功率。此外, 多数使用情况下输入转向是无须改变的, 因此图中只表示了 I、IV 两个象限的工况。 $n_{1\max}$  受到泵的气蚀性能限制,  $M_{1\max}$  对应于泵在最大排量  $V_{\max}^p$  时建立最大压差  $\Delta p_{\max}^p$  所需的转矩。设计合理的液压无级变速装置中马达的许用功率应比泵的要大或相等, 最大输入转速可以达到  $n_{1\max}$ , 它和  $M_{1\max}$  的乘积即是输入角功率值。

装置中的能量损失要靠增加输入功率来补偿。实

① 此处假设液压无级变速装置输入端的制动能力和驱动能力相同, 而实际原动机的制动能力一般都小于其驱动能力。

际输入包线与理想值的偏离表现为  $M_{1max}$  的上升和一个相当宽的低速死区。后者并不是重要的缺点,因为原动机绝大多数是高速的内燃机或电动机。

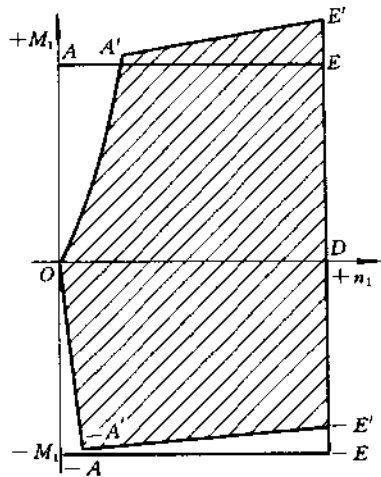


图 31.4-4 液压无级变速装置的典型输入包线

液压无级变速装置的输入包线和输出包线一样具有相当大的可运行范围,这使它能与不同特性的多种原动机获得良好的匹配。图 31.4-5 给出了它与一台

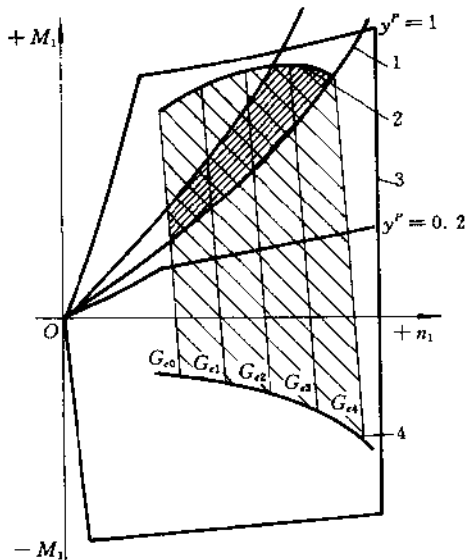


图 31.4-5 液压与液力传动和柴油机特性匹配的对比  
1—液力传动输入特性;2—柴油机转动特性;  
3—液力传动输入特性;4—柴油机制动特性

带全制式调速器的柴油机联合运行的特性曲线。I 象限中上部的曲线 2 为该柴油机的输出转矩与转速的关系,IV 象限中的 4 则为其所能吸收的制动转矩曲线。 $G_{e0} \sim G_{e4}$  分别表示出不同供油量时柴油机的调速特性。由图可看出,液压无级变速装置的输入包线覆盖了柴油机的全部运行工况。图中同时给出了具有一定穿透性的液力传动装置的典型输入特性曲线 1,后者能与柴油机共同工作的区域较窄,而且通常较难逆向传递制动能量,液力传动装置的输入与输出参数之间的关系比较密切,为了在接近于零的很低的输出转速下得到最大的输出转矩,必须使输入转速和转矩均达到接近于最大值,亦即要输入最大功率。这种特性虽然具有随负荷增加“自动”调大变矩系数的优点,但却使它在转矩大、低转速的输出状态下的功率损失显著增加,并常使原动机同时驱动其他工作机的剩余功率不足。相比之下,液压无级变速装置的输入和输出参数之间的相互关联就远没有那样密切。通过适当调节泵和马达的排量,即使在较小的输入功率时,也能获得低速下的大输出转矩。这使它在低速大转矩的输出工况时的效率与同时驱动多个工作机的性能优于液力传动。另一方面,当装有专门的调节系统时,它也可以具有类似于液力传动的输出特性。参数匹配的灵活性是液压无级变速装置的重要优点之一。

31.4.2 液压无级变速装置的典型结构

液压无级变速装置中的液压泵、马达、联接管道及控制阀在机械结构上可有多种多样的组合方式。按布局形态可分为“整体式”和“分置式”两类;按液压马达和最终工作机之间的联接,有“高速方案”和“低速方案”之分;有时也按换能元件的数量,划分为单泵单马达,单泵多马达,双泵多马达等。

(1) 液压无级变速装置油路系统的特点

液压无级变速装置的油路通常是双向对称的闭式系统(图 31.4-6)。它采用双向变量的液压泵,通过泵的变量改变主油路中的流量和流向,相应地调节马达的转速和转向。为了补偿系统的外泄漏,补油泵通过补油单向阀组以一定的压力向主油路低压侧补油。这种闭式系统在功能和结构上有以下特点:

- 能保证输出轴通过零点平稳地完成减速—换向—增速的过程;
- 能保证输出端有足够的“刚性”,不会在负荷大小和方向突然变化时失控;
- 能根据负荷的状况,自动地变换主油路的压差方向,随时可以逆向传递能量,实现对工作机的制动作

用和能量回收;

- 它的主油路低压侧总能维持一定的补油压力, 液压泵不易产生气蚀, 因此可以增加泵的许用转速, 装置的功率密度高;

- 仅有少量的补油流量需要从油箱中吸取, 油箱

可以做得较小, 便于布置。

这些特点特别适用于负荷变化剧烈而结构要求紧凑的设备。因此, 尽管闭式系统有结构较复杂和只适用于单独用户的缺点, 对于行走机械仍有特殊的意义。

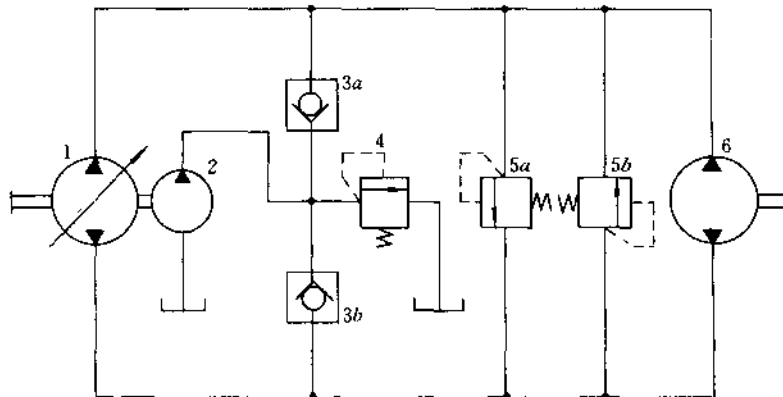


图 31.4-6 闭式系统基本油路

1—双向变量泵; 2—补油泵; 3—补油阀; 4—补油溢流阀; 5—过裁阀; 6—马达

### (2) 装置中液压泵和马达的型式选择

液压无级变速装置大多数用变量泵作为输入元件。在工作机有改变转向和利用传动装置实现制动的要求时, 一般应选用能经过零点变量的双向变量泵。目前实用中最普遍的是各种轴向柱塞泵, 其次为径向柱塞泵, 偶而也用变量叶片泵。

采用闭式油路的装置除主泵外, 还需要补油泵及一系列控制阀。通轴式轴向柱塞泵能较方便地在同一壳体中集成布置这些附属元件, 采用这种结构时, 双向变量泵的体积和重量较小, 功率密度较高, 在行走机械中采用较多。

阀配流的柱塞泵不具备作为马达运行的可逆性, 在液压无级变速装置中使用得很少。

原则上各种类型的液压马达均可选作输出元件。就所能达到的功率、效率和转速范围以及变量能力、启动性能来说, 以各种柱塞式马达为优, 但其价格一般较贵, 所以在中小功率的装置中, 摆线齿轮马达、渐开线齿轮马达和叶片马达也用得很多。

有些调速范围较大的装置需要采用变量马达。由

于装置中一般均通过变量泵或方向阀来控制输出转向, 所以除了“用户端调节”系统和某些功率分流装置外, 通常马达仅需要单向变量能力。近年出现的一批大偏转角斜轴式柱塞马达, 采用带圆柱面的滑枕形配流盘的变量结构, 具有良好的单向变量能力和优异的功率/质量比, 值得推荐采用。

### (3) 整体式和分置式液压无级变速装置

整体式装置中, 液压泵和马达具有公共壳体或安装在一个共同的刚性支座上。在前一种情况下, 泵和马达之间的高压流道通常布置在壳体内, 仅有少量供联接油箱、滤油器、冷却器和遥控装置的外接低压油口。在极端情况下, 泵、马达连同所有的管道、阀组和滤油器完全封闭在同一个壳体中, 壳体内腔兼作油箱, 外壁铸出翅片供散热之用。这样的装置仅通过机械的输入、输出轴和控制机构与其他部件联接, 形如一台机械变速器。

按照输入输出轴之间的几何配置关系不同, 整体式装置可分为直列型、转角型、并列型和“1”字型等几种(图 31.4-7)。



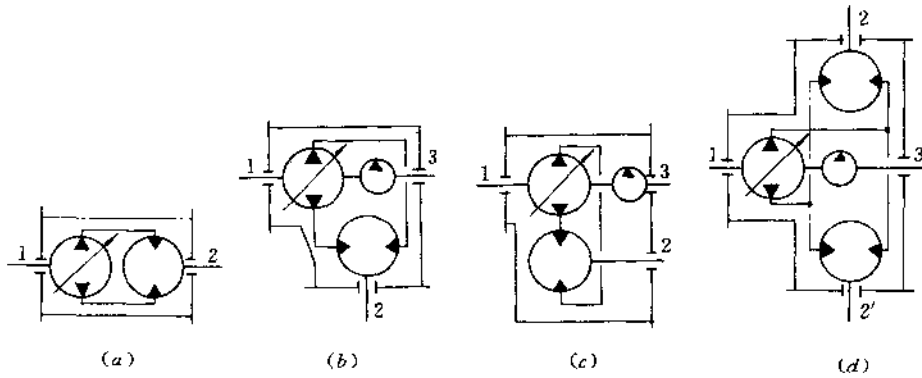


图 31.4-7 整体式装置的配置

(a) 直列型; (b) 转角型; (c) 并列型; (d) T 字型

1—输入轴; 2—输出轴; 3—机械动力输出轴

直列型的常采用通轴式的元件, 并制成输入、输出同轴线的型式。图 31.4-8 和图 31.4-9 分别示出美国 Sundstrand 公司和 Dynapower 公司的两种直列式装置的基本结构。它们都采用通轴式轴向柱塞变量泵和定量马达。两者的配流盘装在共同的中间支座上, 主油道直接在支座中铸出, 一些控制阀也“集成”在上面。图 31.4-8 所示装置中本身不带补油泵, 因此尚需另外的油源(通常选用齿轮泵)为其提供补油和控制压力, Dynapower 公司的产品则把一个转子式补油泵也布置到了配油盘支座里面。

直列型装置的主油路短捷, 外部安装型式类似于机械变速箱, 比较符合一般机构的传统布局, 在行走机械上用得很多, 它的缺点是不便于设置动力输出轴, 布置补油泵比较困难。

转角型装置的输入、输出轴一般呈  $90^\circ$  夹角, 常成对地用于驱动某些工程机械的左右履带或驱动轮。它的输入轴可以制成贯通型的, 不仅便于布置补油泵, 还

可以作为机械动力输出轴驱动工作液压泵和其他辅助装置, 见图 31.4-10。

另一种在行走和固定机械上都得到较广泛应用的整体式液压无级变速装置是并列型的, 它的输入、输出轴平行布置。图 31.4-11 示出日本荻场公司 HVFD-37A9 型液压无级变速装置, 这种型式的特点是:

- 泵和马达的配流盘在同一侧的端盖上, 便于布置主油道、补油泵和各种辅助装置。

- 两个端盖处均可安排泵或马达的轴伸, 能够适应不同的输入、输出路线; 泵和马达均可制成双轴伸的型式, 泵的第二轴伸可作为机械动力输出轴, 马达的则可作为同步动力输出轴, 例如可用于驱动车辆的导向轮桥;

- 主油道比直列式长, 且多曲折, 并列在同一壳体内的泵和马达的两个缸体回转时可能造成较大的搅油损失。因此它的效率一直略逊于直列式的。

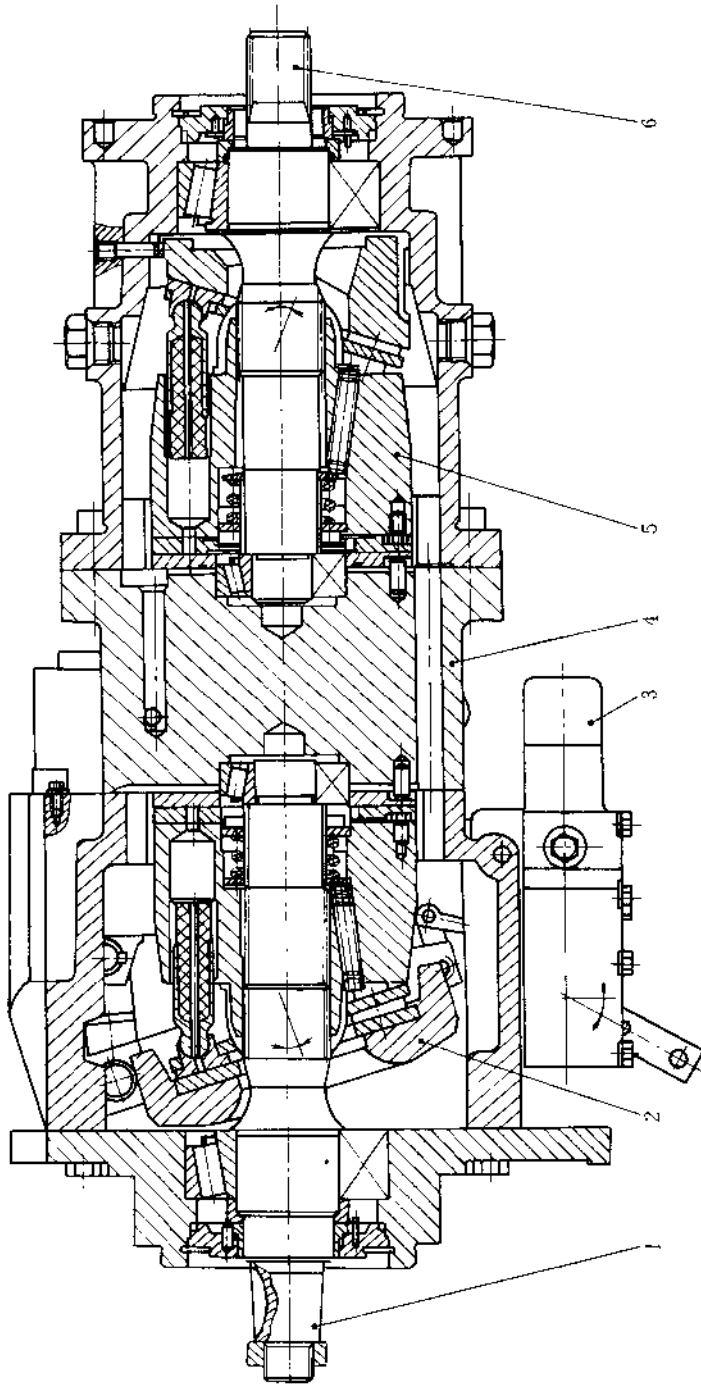


图 31.4-8 美国 Sundstrand 公司的 PV23/MF23 泵

- 1—输入轴; 2—变量泵; 3—流量调节装置; 4—中间配流支座; 5—定量马达; 6—输出轴

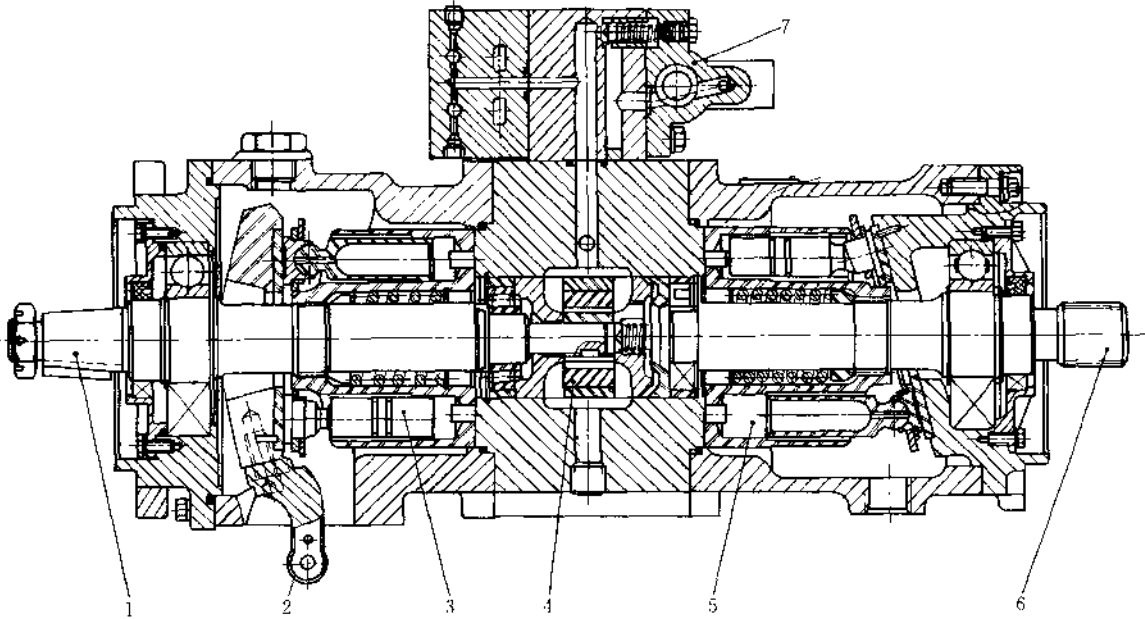


图 31.4-9 美国 Dynapower 公司可变速度装置(60/48 型)  
1—输入轴;2—变量杠杆;3—变量泵;4—补油泵;5—定量马达;6—输出轴;7—单向、安全阀组

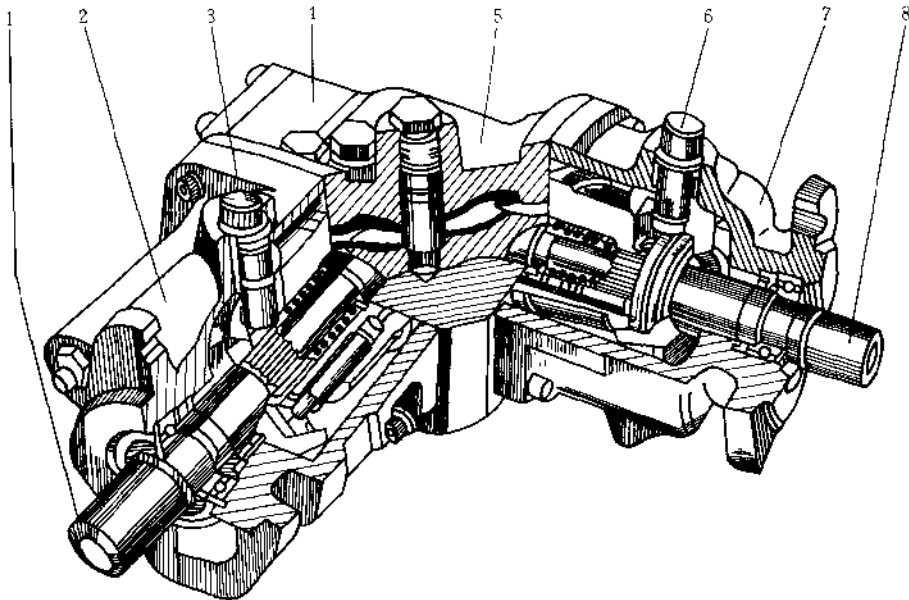


图 31.4-10 美国 Vickers 公司可转角度变速装置  
1—输出轴;2—变量马达;3—马达控制轴;4—补油泵;5—中间配油体;6—泵控制轴;7—变量泵;8—输入轴

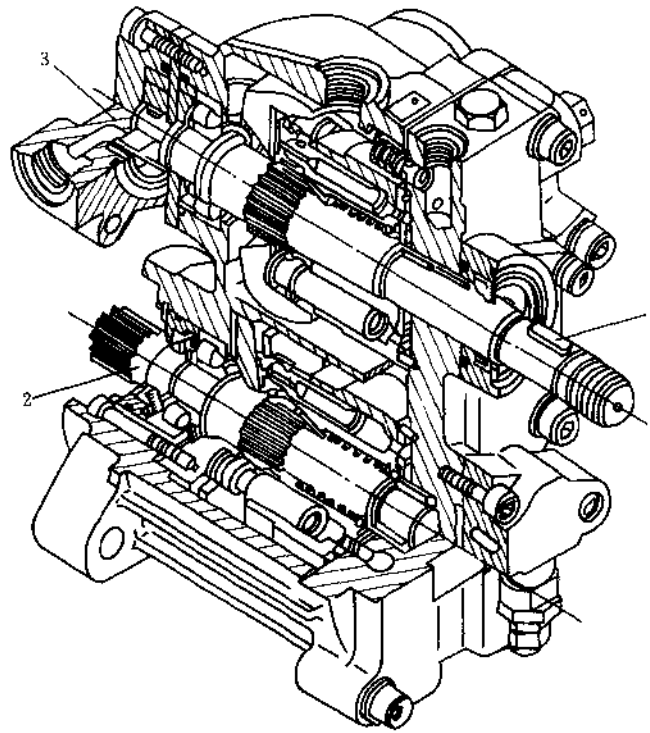


图 31.4-11 开列型变速装置(HVFD型)

1—变量泵输入轴;2—定量马达输出轴;3—补油泵

“T”字型布局的液压无级变速装置由一台泵和两个油道并联的马达构成,主要用于行走机械上作为驱动桥。图 31.4-12 为德国 Linde 公司的一种 T 字型整体式液压无级变速装置。一台变量泵和两个定量马达均为斜盘式的,它们公用一个配流盘支座,呈“T”字型布局。主泵轴后端有一台双联齿轮泵,为装置本身提供补油和控制压力油,也为主机上其他工作和转向液压系统供油。该装置是为起重量为 20~30kN 的内燃叉车开发的,主泵最大排量 90ml/r,马达各为 43ml/r,最高工作压力 43MPa,输入转速 2100r/min。并联的马达保证了被驱动的左右行走轮在转向时具有良好的差速作用。

表 31.4-1 列出了一些典型的整体式液压无级变速装置的性能参数。

精心设计的整体式液压无级变速装置具有较高的效率和功率/质量比,调节能也较好。其连接方式与机械变速箱类似。在某些场合可以直接取代后者。它的另一个重要优点是外接油口少,而且所连接的几乎都是小口径低压管道,安装比较方便,液压油泄漏和受

到污染的机会少,运行比较可靠。因此,尽管整体式装置并没有充分体现液压传动布局灵活的优点,在现代技术中仍然获得了相当广泛的应用。

相对于整体式装置的是分置式液压无级变速装置。它是由标准化的液压泵、液压马达和一些必要的辅件管道连接起来构成的,输入与输出轴可以相距几米到十几米远,两者之间的相对位置原则上不受限制。和整体式相比,它的突出优点是在元件的选择和布局方面有很大的灵活性。例如,可以利用一个中心泵站向分布在设备的各个部位的马达供油,也可以从牵引车上的液压泵经过软管向挂车或被牵引的机具上的马达输送动力。采用这种传动方式可以解决一般机械传动所无法克服的许多困难,不仅为机具的设计者提供了诸多方便,而且也开发某些形态独特、传动路线复杂的新设备创造了有利条件。

由于管道和接头引起的流动损失较大,分置式装置的效率一般比整体式的低。各元件总的重量和体积较大,装配工作量大,出现外部泄漏的机会也较多,这是它的缺点。

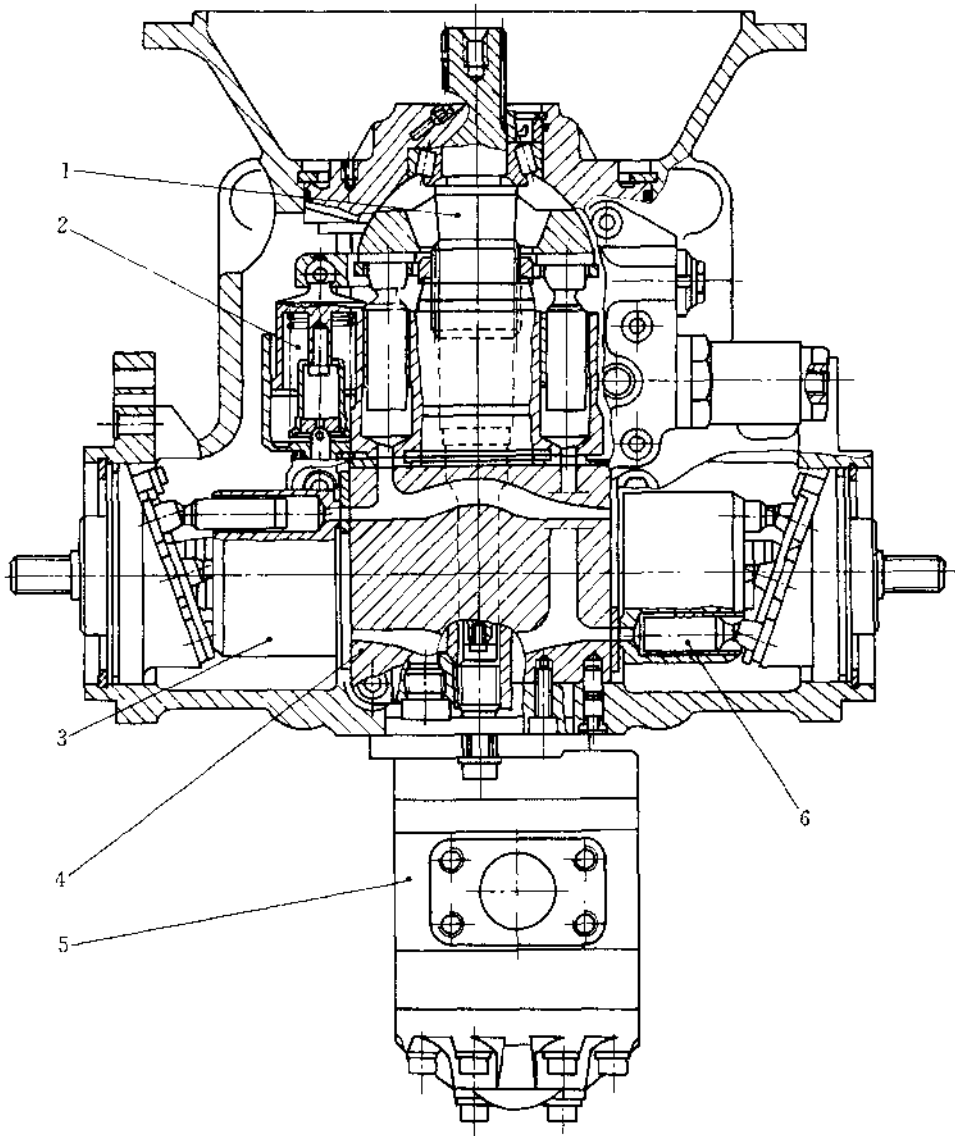


图 31 4-12 德国 Linde 公司的 T 字型减压无级变速装置 (AK-30 型)

1—变量泵; 2—变量机构; 3、6—定量马达; 4—中间配流体; 5—双联齿轮泵 (补油、转向及工作液压系统油源)

表 31.4-1 一些整体式液压无级变速装置的技术数据

| 序号    | 国别 | 制造厂        | 型号          | 布置方案   | 液 压 泵 |             |                | 液 压 马 达 |             |                | 最高工作压力 /MPa | 结构质量 /kg | 最大功率 /kW | 备注   |              |   |
|-------|----|------------|-------------|--------|-------|-------------|----------------|---------|-------------|----------------|-------------|----------|----------|------|--------------|---|
|       |    |            |             |        | 型式    | 排量 / (mL/r) | 最高转速 / (r/min) | 型式      | 排量 / (mL/r) | 最高转速 / (r/min) |             |          |          |      | 最大转矩 / (N·m) |   |
| 1     | 日  | 壹场         | HVFD 37A9   | 并列型    | 斜盘    | 0~37.0      | 2100           | 斜盘      | 37.0        | 1890           | 110         | 21.0     | —        | —    |              |   |
| 2     | 美  | Sundstrand | PV23/MF23   | 直列型    | 斜盘    | 0~49.0      | 3000           | 斜盘      | 89.0        | 3000           | 472         | 35.0     | 110      | —    |              |   |
|       |    |            | PV18/MF18   | 并列型    | 斜盘    | 0~37.7      | 3900           |         | 37.7        | 3900           | 130         | 24.1     | 32       | 45.0 |              |   |
|       |    |            | PV15/MF15-1 | 直列型    | 斜盘    | 0~14.9      | 3800           | 盘       | 14.9        | 3800           | 45          | 21.0     | 16.6     | —    |              |   |
|       |    |            | PV15/MF15-2 | 并列型    |       | —           | —              |         | —           | —              | —           |          | —        | 15   | —            |   |
| 3     | 美  | Eaton      | 1150        | T字型    | 径向球塞  | 0~18.0      | 3600           | 摆线齿轮    | ZX244.1     | 125            | 542         | 15.5     | 36.3     | 15   |              |   |
|       |    |            | 11          | 直列型    |       | —           |                | —       | —           | —              | —           | —        | —        | —    | —            |   |
|       |    |            | 08          | 直列型    |       | 0~7.5       |                | —       | —           | —              | —           | —        | —        | —    | —            |   |
| 4     | 美  | Dynapower  | 60/46       | 直列型    | 斜盘    | 0~98.3      | 2800           | 斜盘      | 78.7        | 3200           | 39.5        | 35.0     | —        |      |              |   |
| 5     | 日  | 日 钢        | HG15        | 并列型    | 斜盘    | 0~15.0      | 2800           | 斜盘      | 15.0        | 2700           | 60          | 28.0     | 36       | 13.2 |              |   |
|       |    |            | HG25        | —      | —     | 0~25.0      |                |         | —           |                | —           | —        | —        | —    | —            | — |
| 6     | 英  | Renold     | CF10        | 直列型    | 径     | —           | 1420           | 径       | —           | 1420           | 3.2         | —        | 10       | 0.47 |              |   |
|       |    |            | CF12        |        |       | —           | 1420           |         | —           | —              | 6.3         | —        | 18       | 1.12 |              |   |
|       |    |            | CF13        |        |       | —           | 1430           |         | —           | —              | 9.9         | —        | 46       | 2.24 |              |   |
|       |    |            | CF14        | —      | 960   | —           | —              | 22.3    | —           | 46             | 2.98        |          |          |      |              |   |
|       |    |            | CA3         | 向      | —     | 1430        | 向              | —       | 1385        | 25.8           | —           | 59       | 3.73     |      |              |   |
|       |    |            | CA4         | —      | —     | 1440        | —              | —       | 1400        | 38.1           | —           | 68       | 5.60     |      |              |   |
|       |    |            | CA5         | 柱      | —     | 960         | 柱              | —       | 930         | 95.6           | —           | 117      | 11.19    |      |              |   |
|       |    |            | CA6         | —      | —     | 965         | —              | —       | 940         | 163.8          | —           | 127      | 18.65    |      |              |   |
|       |    |            | CAM26       | 塞      | —     | 1440        | 塞              | —       | 1400        | 50.8           | —           | 82       | 7.46     |      |              |   |
|       |    |            | CAM42       | —      | —     | 970         | —              | —       | 945         | 226.0          | —           | 225      | 22.38    |      |              |   |
| CA150 | —  | —          | 725         | —      | —     | 70          | 406.8          | —       | 971         | 29.84          |             |          |          |      |              |   |
| 7     | 德国 | Linde      | AK-30-01    | T字型    | 斜盘    | 0~90        | 2200           | 斜盘      | 2×43        | 2500           | 2×258.4     | 42       | —        | —    |              |   |
|       |    |            | KA2018      | —      | 斜轴    | 0~75        | 2800           | 斜轴      | 2×50        | 3000           | 2×229       | 32       | 320      | 88.3 | 带减速器         |   |
|       |    |            | KA2218      | —      | —     | 0~105       | 2500           | —       | —           | —              | —           | —        | 330      | 118  |              |   |
| 8     | 德国 | Allgaier   | 52          | 直列、内分流 | 斜盘    | —           | 3600           | 斜盘      | —           | 4500           | —           | —        | 20       | 11   |              |   |
|       |    |            | 80          |        |       | —           | 2500           |         | —           | —              | —           | —        | 70       | 33   |              |   |
|       |    |            | 81          |        |       | —           | —              |         | —           | —              | —           | —        | 80       | 48   |              |   |
|       |    |            | 82          |        |       | —           | —              |         | 2300        | —              | —           | —        | 110      | 62.5 |              |   |
|       |    |            | 83          | —      | —     | 2200        | —              | —       | 1500        | —              | 160         | 91.8     |          |      |              |   |
|       |    |            | 62          | 直列型    | 斜盘    | —           | 3000           | 斜盘      | —           | 3000           | —           | 120      | —        | 77   | 7.5          |   |
|       |    |            | 63          | —      | —     | —           | —              | —       | —           | —              | 200         | —        | 91       | 18.5 |              |   |
|       |    |            | 65          | —      | —     | —           | 2500           | —       | —           | 2500           | 375         | —        | 240      | 37.0 |              |   |
| 66    | —  | —          | —           | 2000   | —     | —           | 2500           | 500     | —           | 60             | 44.1        |          |          |      |              |   |
| 67    | —  | —          | —           | 1450   | —     | —           | 2300           | 900     | —           | 360            | 75.0        |          |          |      |              |   |

续表

| 序号 | 国别  | 制造厂              | 型号       | 布置方案 | 液 压 泵 |             |                | 液 压 马 达 |             |                | 最高工作压力 /MPa | 结构质量 /kg | 最大功率 /kW | 备注   |              |
|----|-----|------------------|----------|------|-------|-------------|----------------|---------|-------------|----------------|-------------|----------|----------|------|--------------|
|    |     |                  |          |      | 型式    | 排量 / (mL/r) | 最高转速 / (r/min) | 型式      | 排量 / (mL/r) | 最高转速 / (r/min) |             |          |          |      | 最大扭矩 / (N·m) |
| 9  | 德 国 | Sauer-Sundstrand | SGH15/5  | 直列型  | 斜盘    | 0~15.0      | 3800           | 斜盘      | 15.0        | 3800           | 45          | 31.5     | 19       | —    |              |
|    |     |                  | SGU15/15 | 并列型  |       |             |                |         |             |                |             |          | 14       | —    |              |
|    |     |                  | BDU-10S  | 并列型  | 斜盘    | 0~10        | 3000           | 斜盘      | 0~10.0      | 2800           | 21          | 21       | 6.3      |      |              |
|    |     |                  | BDU-10L  |      |       | 0~10        | 3600           |         | 0~10        | 3400           | 21          | 21       | 6.5      |      |              |
|    |     |                  | BDU-21L  |      |       | 0~21        | 3600           |         | 0~21        | 3400           | 44.1        | 21       | 10.0     |      |              |
|    |     |                  | M25U     |      |       | 0~25        | 4000           |         | 0~25        | 3700           | 153.6       | 42       |          |      |              |
| 10 | 法 国 | Poclair          | H20      | 并列型  | 斜盘    | 0~53        | 3200           | 斜盘      | 53          | 3200           |             | 50       | 80       | 114  | 履带转向用        |
|    |     |                  | H27      |      |       | 0~186       | 3500           |         | 186         | 3500           |             |          | 180      | 410  |              |
|    |     |                  | H31      |      |       | 0~285       | 2800           |         | 285         | 2800           |             |          | 230      | 570  |              |
|    |     |                  | H37      |      |       | 0~480       | 2500           |         | 480         | 2500           |             |          | 430      | 1000 |              |
| 11 | 瑞 士 | Von Roll         | MK90     | 并列型  | 斜盘    | 0~92        | 2500           | 斜盘      | 92          | 2500           | 750         | 50       | 85       | 225  | 履带转向用        |
|    |     |                  | MK186    |      |       | 0~186       | 2000           |         | 186         | 2000           | 1500        |          | 145      | 360  |              |
|    |     |                  | MK280    |      |       | 0~280       | 1800           |         | 280         | 1800           | 2250        |          | 200      | 490  |              |
|    |     |                  | MK392    |      |       | 0~392       | 1600           |         | 392         | 1600           | 3150        |          | 280      | 610  |              |
| 12 | 日 本 | 大金               | BDU-10S  | 并列型  | 斜盘    | 0~10        | 3000           | 斜盘      | 10          | 3000           |             |          | 6.8      |      |              |
|    |     |                  | BDU-10L  |      |       | 0~10        | 3600           |         | 10          | 3600           |             |          | 6.8      |      |              |
|    |     |                  | BDU-21L  |      |       | 0~21        | 3600           |         | 21          | 3600           |             |          | 10       |      |              |

(4) 高速方案和低速方案

在由液压无级变速装置驱动的工作机中,有一大部分转速较低,每分钟只有几百、几十转甚至更低。如行走机械的驱动轮、卷扬机的绞盘、混凝土搅拌机的滚筒、雷达天线的制动装置、塑料挤出机的螺杆等。对此类设备,有由马达减速器驱动和由低速大转矩马达直接驱动两种传动方案。前者称为高速方案,后者为低速方案。高速方案采用的液压马达可以是高转速型的,也可以是低转速型的。

采用低速方案驱动行走轮时,除了轮毂直接与马达输出轴联接的安装方式以外,还常常采用心轴固定、外壳旋转的“车轮马达”。后者直接装在车轮辐板上,取代了原有的轮毂,无须另占安装空间(图 31.4-13)。类似的结构也用于驱动卷扬绞盘,此时马达可以

布置在转鼓的空壳体内部。

近年来,国外出现一些把高速液压马达的“芯子”和行星齿轮减速器集成于同一壳体中的驱动装置。它们属于高速方案的装置,但马达不是独立的元件。使用最多的这种驱动装置具有类似于图 31.4-13 的低速车轮马达的外部联接方式,即心轴固定,壳体旋转,可以直接承受行走轮传递的各种径向和轴向负荷。图 31.4-13 即这种单元结构。根据需要,它们的马达高速轴上也可设置制动器(见图 31.4-14)及离合器。

这种装置的减速器传动比可根据要求确定,因此适用性较好,在一定程度上综合了高、低速两种方案的优点,结构比较紧凑,但它的制造比较困难。表 31.4-2 为这类产品的性能参数。

表 31.4-2 一些马达-减速器集成装置的性能参数

| 序号       | 国别         | 制造厂                                   | 型号          | 用途     | 液 压 马 达            |                |              | 减速装置<br>传动比<br>范 围 <sup>①</sup> | 最大输出转速<br>/(r/min) |       | 最大输出转矩<br>/(N·m)   |                    | 结构质<br>量/kg |     |
|----------|------------|---------------------------------------|-------------|--------|--------------------|----------------|--------------|---------------------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|-------------|-----|
|          |            |                                       |             |        | 型式                 | 排 量<br>/(mL/r) | 最大压力<br>/MPa |                                 | 最大                 | 最小    | 最大                 | 最小                 |             |     |
|          |            |                                       |             |        |                    |                |              |                                 |                    |       |                    |                    |             | 传动比 |
| 1        | 英国         | Rexroth -<br>Carron                   | MCW 100     | 绞盘,带制动 | 轴向<br>球塞           | 996            | 25           | 8.54                            | 35                 | —     | 17000              | —                  | 250         |     |
| 2        | 德国         | Rexroth -<br>Lohmann +<br>Stolterfoht | GFR2D2 - 16 | 车轮,带制动 | 斜轴                 | 28.1           | 32           | 8.545                           | 550                | —     | 1250               | —                  | —           |     |
|          |            |                                       | GFR2D2 - 20 |        |                    | 54.8           |              |                                 | 440                | —     | 2000               | —                  | —           |     |
|          |            |                                       | GFR5D2 - 16 |        |                    | 28.1           |              |                                 | 9.091              | 520   | —                  | 1300               | —           | —   |
|          |            |                                       | GFR5D2 - 20 |        |                    | 54.8           |              |                                 |                    | 410   | —                  | 2550               | —           | —   |
|          |            |                                       | GFR5D2 - 22 |        |                    | 80.0           |              |                                 |                    | 370   | —                  | 3700               | —           | —   |
|          |            |                                       | GFR5D2 - 25 |        |                    | 107.0          |              |                                 | 330                | —     | 5000               | —                  | —           |     |
|          |            |                                       | GFR2D3 - 16 |        |                    | 28.1/8.1       |              |                                 | 8.545              | 730   | —                  | 1250               | —           | —   |
|          |            |                                       | GFR2D3 - 20 |        |                    | 54.8/15.8      |              |                                 |                    | 580   | —                  | 2000               | —           | —   |
|          |            |                                       | GFR5D3 - 16 |        |                    | 28.1/8.1       |              |                                 | 9.091              | 690   | —                  | 1300               | —           | —   |
|          |            |                                       | GFR5D3 - 20 |        |                    | 54.8/15.8      |              |                                 |                    | 550   | —                  | 2550               | —           | —   |
|          |            |                                       | GFR5D3 - 22 |        |                    | 80.0/23.0      |              |                                 |                    | 490   | —                  | 3700               | —           | —   |
|          |            |                                       | GFR5D3 - 25 |        |                    | 107.0/46.0     |              |                                 | 440                | —     | 5000               | —                  | —           |     |
|          |            |                                       | GFR58E2     |        |                    | 28.1           |              |                                 | 24~55.64           | 85.3  | 197.9              | 7955               | 3431        | 110 |
|          |            |                                       | GFR73E2     |        |                    | 54.8           |              |                                 | 28.16~50.54        | 74.2  | 133.2              | 12000 <sup>②</sup> | 7852        | 120 |
|          |            |                                       | GFR75E2     |        |                    | 80.0           |              |                                 | 25.44~49.11        | 68.2  | 131.6              | 17500 <sup>②</sup> | 10358       | 180 |
|          |            |                                       | GFR77E2     |        |                    | 107.0          |              |                                 | 24~48.09           | 62.4  | 125                | 25000 <sup>②</sup> | 13066       | 195 |
|          |            |                                       | GFR98E2     |        |                    | 160.0          |              |                                 | 23.41~57.9         | 45.7  | 113                | 36000 <sup>②</sup> | 19062       | 350 |
|          |            |                                       | GFR100E2    |        |                    | 225.0          |              |                                 | 24~53.7            | 43.9  | 98.3               | 50000 <sup>②</sup> | 27475       | 375 |
|          |            |                                       | GFR58E3     |        |                    | 28.1/8.1       |              |                                 | 24~55.64           | 112.3 | 260.4              | 7955 <sup>②</sup>  | 3431        | 110 |
|          |            |                                       | GFR73E3     |        |                    | 54.8/15.8      |              |                                 | 28.16~50.54        | 98.6  | 177.5              | 12000 <sup>②</sup> | 7852        | 125 |
| GFR75E3  | 80.0/23.0  | 25.44~49.11                           | 91.6        | 176.8  | 17500 <sup>②</sup> | 10358          | 185          |                                 |                    |       |                    |                    |             |     |
| GFR77E3  | 107.0/30.8 | 24~48.09                              | 83.2        | 166.7  | 25000 <sup>②</sup> | 13066          | 200          |                                 |                    |       |                    |                    |             |     |
| GFR98E3  | 160.0/46   | 23.41~57.9                            | 60.4        | 149.5  | 36000 <sup>②</sup> | 19062          | 355          |                                 |                    |       |                    |                    |             |     |
| GFR100E3 | 225.0/64.8 | 24~53.7                               | 57.7        | 129.0  | 50000 <sup>②</sup> | 27457          | 380          |                                 |                    |       |                    |                    |             |     |
| GFR048E  | 35         | 15.2~42.26                            | 88.7        | 246.7  | 5000 <sup>②</sup>  | 2664           | —            |                                 |                    |       |                    |                    |             |     |
| GFR053E  | 56         | 15.2~42.26                            |             | 246.7  | 8000 <sup>②</sup>  | 4263           | —            |                                 |                    |       |                    |                    |             |     |
| 3        | 德国         | ZF                                    | P3200       | 混凝土运输车 | 斜轴                 | 40/50          | 35           | 标准 162.4                        | 18                 | —     | 49000 <sup>②</sup> | —                  | 243         |     |
|          |            |                                       | P5200       |        |                    | 60/70          |              | 标准 156.5                        |                    | —     | 61000 <sup>②</sup> | —                  | 350         |     |
|          |            |                                       | RMF140-1    | 车轮,带制动 |                    | 30.4           |              | 7.08~27.59                      | 130                | 500   | 4221               | 1083               | 35~42       |     |
|          |            |                                       | RMF140-2    |        |                    | 37.7           |              | 7.08~27.59                      |                    | 5214  | 1338               | 35~42              |             |     |



续表

| 序号 | 国别 | 制造厂   | 型号       | 用途     | 液 压 马 达 |                |              | 减速装置<br>传动比<br>范 围 <sup>①</sup> | 最大输出转速<br>/(r/min) |                   | 最大输出转矩<br>/(N·m)   |            | 结构质<br>量/kg |
|----|----|-------|----------|--------|---------|----------------|--------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------|-------------|
|    |    |       |          |        | 型式      | 排 量<br>/(mL/r) | 最大压力<br>/MPa |                                 | 最大传<br>动比时         | 最小传<br>动比时        | 最大传<br>动比时         | 最小传<br>动比时 |             |
|    |    |       |          |        |         |                |              |                                 |                    |                   |                    |            |             |
| 3  | 德国 | ZF    | RMF250-1 | 车轮,带制动 | 斜轴      | 41.0           | 38.5         | 16.73~30.63                     | 105                | 190               | 7151               | 3988       | 70          |
|    |    |       | RMF250-2 |        |         | 51.6           |              | 16.73~30.63                     | 105                | 190               | 9000 <sup>②</sup>  | 5020       | 70          |
|    |    |       | RMV250   |        |         | 51.6/20.0      |              | 16.73~30.63                     | 120                | 220               | 9000 <sup>②</sup>  | 5020       | 76          |
| 4  | 德国 | Sauer | SRF-1    | 车轮,带制动 | 斜轴      | 37.7           | 35           | 12~33                           | 118                | 325               | 5500 <sup>②</sup>  | 2265       | 42          |
|    |    |       | SRF-2    |        |         | 45.9           | 42           | 12~33                           | 120                | 330               | 7000 <sup>②</sup>  | 3310       | 42          |
| 5  | 法国 | Soma  | MRH05F   | 车轮,带制动 | 斜轴      | 34.7           | 35           | 11.83~30.27                     | 100                | 255               | 5400               | 2100       | 60          |
|    |    |       | MRH10F   |        |         | 50.2           |              | 15.51~37.8                      |                    |                   | 9700               | 4000       | 120         |
|    |    |       | MRH15F   |        |         | 74.9           |              | 15.51~37.8                      | 80                 | 195               | 14500              | 5950       | —           |
|    |    |       | MRH20F   |        |         | 104.9          |              | 15.51~37.8                      | 20350              | 8350              | 170                |            |             |
|    |    |       | MRH10C   |        |         | 50.2/15        |              | 15.51~37.8                      | 9700               | 4000              | 120                |            |             |
|    |    |       | MRH15C   |        |         | 74.9/22        |              | 15.31~37.8                      | 100                | 250               | 14500              | 5950       | —           |
|    |    |       | MRH20C   |        |         | 104.9/31       |              | 15.31~37.8                      | 20350              | 8350              | 170                |            |             |
| 6  | 瑞典 | Volvo | WM6B-19  | 车轮,带制动 | 斜轴      | 19.0           | 35           | 22                              | 230                | —                 | 2300               | —          | 58          |
|    |    |       | WM6B-39  |        |         | 38.7           |              | 22                              |                    | —                 | 3000               | —          | 69          |
|    |    |       | WM7B-39  |        |         | 38.7           |              | 17~42                           | 95                 | 235               | 4400 <sup>②</sup>  | 3665       | 82          |
|    |    |       | WM8B-39  |        |         | 38.7           | 22/31        | 162                             | 227                | 6000 <sup>②</sup> | 4752               | 107        |             |
|    |    |       | WM8B-58  |        |         | 58.2           | 22/31        | 146                             | 204                |                   | 6000               | 110        |             |
|    |    |       | WM9B-58  |        |         | 58.2           | 35           | 19~49                           | 71                 | 184               | 8800 <sup>②</sup>  | 6151       | 140         |
|    |    |       | WM10B-78 |        |         | 78.2           | 35           | 37                              | 95                 | —                 | 10500 <sup>②</sup> | —          | 216         |
|    |    |       | WM11B-78 |        |         | 78.2           | 35           | 17~36                           | 83                 | 176               | 14700 <sup>②</sup> | 7378       | 205         |

① 定货时选定一种传动比;② 受减速装置强度限制的最大传动比时的输出转矩

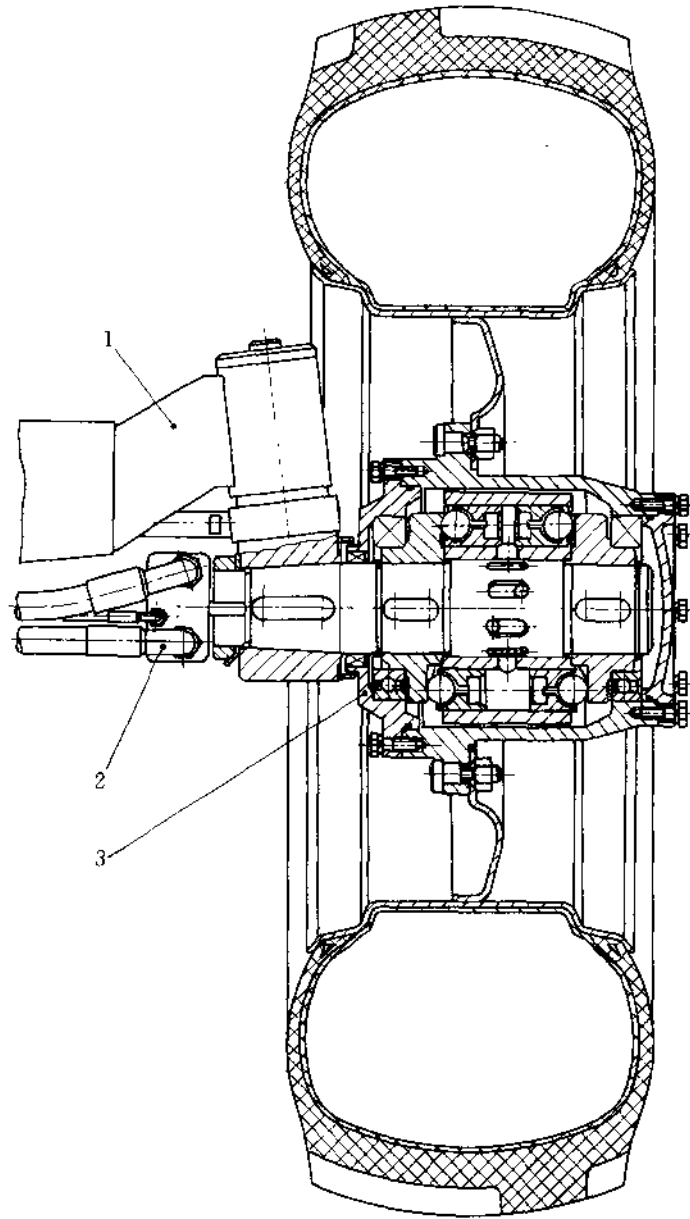


图 31.4-13 安装在车辆导向轮上的低速马达(国产 ZQM31 型车轮马达)  
1—导向桥横梁;2—接头体;3—低速马达

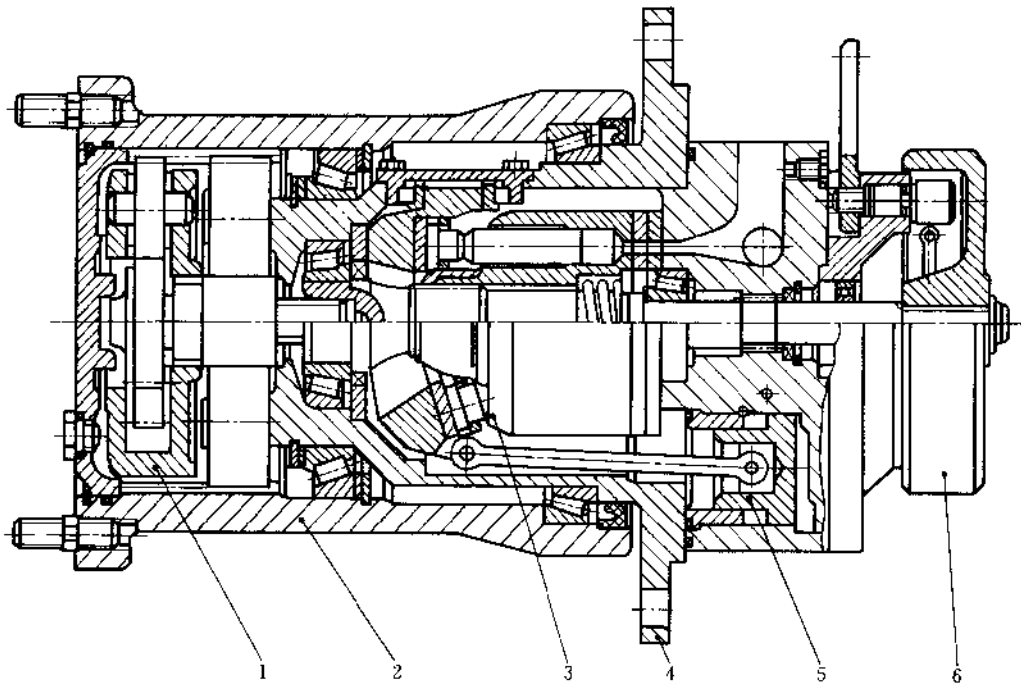


图 31.4-14 装有变量马达的集成驱动装置(ZF 公司 RMV250 型)

1—行星减速器;2—壳体(驱动轮毂);3—变量马达;4—安装法兰;5—变量缸;6—制动器

高速方案和低速方案各有其优缺点(表 31.4-3)。一般来说,前者在功能方面优点较多,后者在结构和效率方面有所长。随着低速液压马达技术的进

步,近年来在行走机械、船用机械和塑料机械上采用低速方案的设备有增加的趋势。

表 31.4-3 高速方案和低速方案比较

| 项 目             | 低 速 方 案   | 高 速 方 案  |
|-----------------|---|--|
| 结构与安装条件         | 简单、质量轻,安装比较灵活,常用于分置式方案                                  | 一般比较复杂、庞大,安装部位受限制较多  |
| 总效率             | 在同等布置方案时较高  | 略低,因有减速器的附加损失  |
| 启动和低速运转性能       | 较好  | 一般较差   |
| 匹配适应性           | 受到马达排量的有限规格限制,有时不得不制造专用马达,通用性差                          | 用标准马达通过改变减速器传动比可与多种工况要求匹配,马达通用性好                                 |
| 变矩范围            | 多采用定量马达,变量马达种类较少且变量范围有限,变矩范围较小(柱塞式通常可变矩)                | 可以用变量马达和改变减速器传动比(机械变速器)的方式获得大的变矩范围                               |
| 设置机械制动器、离合器的可能性 | 可装制动器,但由于须承受较大的制动转矩,比较笨重,某几种低速马达有空载自转能力(自由轮)            | 可在变速器中设置制动器或离合器,装于高速轴上的制动器体积较小,实现“自动轮”工况较困难(要采用“零排量”马达或设置专门的离合器) |
| 马达受力情况          | 除承受转矩负荷外,往往还须承受工作机的径向和轴向力、弯矩,受力条件较恶劣                    | 一般由减速器承受工作机的径向和轴向力及弯矩,马达仅承受转矩负荷,受力条件较好                           |
| 其他              | 低速马达和变量泵制造工艺差别较大,生产批量一般较小,马达售价较高。但由于省去机械减速器,总成本未必高于高速方案 | 高速马达与变量泵制造工艺相近,便于组织大批量生产,马达较便宜,但需附加减速器的费用                        |

### 31.4.3 液压无级变速装置的参数选择与计算

选用液压无级变速装置的基本原则是:变速装置的输出包线要能包容工作机的各种工况要求。这包括转速、转矩和功率三方面的匹配,其中,前两项是基本的,功率匹配是派生的。

当采用整体式装置时,液压泵和马达均由生产厂家配好,用户可以根据厂方提供数据来选型、定货。

采用分置式装置的用户可以根据需要比较灵活地搭配液压泵和马达,它们可以是相同的或不同的型号。选用时应尽量使两者的许用工作压力级别相同,这样才能充分发挥各自的性能。

#### (1) 转速调节比和转矩调节比

转速调节比  $R_n$  是最大、最小输出转速之比

$$R_n = \frac{n_{2\max}}{n_{2\min}}$$

转矩调节比  $R_M$  为最大、最小输出转矩之比

$$R_M = \frac{M_{2\max}}{M_{2\min}}$$

液压无级变速装置的总调节比是组成它的液压泵、液压马达及附加的机械变速器(对于高速方案)各自调节比的乘积。

当不计功率损失时,  $n_{2\min}$  和  $M_{2\min}$  均可为零,因此理论上  $R_n$  和  $R_M$  值均为无穷大。但在实际上马达转速有一下限,工作机的最小空载转矩也不可能为零,所以液压泵和马达实际能达到的  $R_n$  和  $R_M$  值都是有限的。其中,输出转矩调节比受到的限制尤其多。

在满足一定传动效率的情况下,对于只有变量泵调节(一次调节)的液压无级变速装置,其  $R_M$  值一般不大于4。这种定量马达的装置可适应相当一部分工作机的要求(参见表31.4-4)。如果要求更大的转矩调节比,则需考虑二次调节。常用的二次调节方式有:

#### (A) 选用变量马达

变量马达的最大排量和最小排量之比一般可达2.5~4.5,因此可把装置的总  $R_M$  值扩大到10~18。低速变量马达通常是有级变量的,高速变量马达结构上允许无级变量。采用调节马达排量的二次调节方式能够适应液压无级变速装置的多种布局,并可带负荷调速,应用最为广泛。

#### (B) 选用串联机械变速器

利用串联在马达输出轴和工作机之间的多档式机械变速器可把装置总的转矩调节比提高2~4倍或更多。常用的是两个传动比的高低档变速箱,使装载机

之类的行走机械具有一个低速大牵引力的工作速度和一个高速小牵引力的运输速度。前者的传动比一般为后者的2倍。供此用途的机械变速箱常不需要具有负荷换档的能力,构造可以比较简单。串联变速箱的二次调节方式仅适用于高速方案,一般不用于多马达的分置式装置。多数情况下,仅能在停车时换档。

#### (C) 改变马达的数量和联接方式

变换油路增减驱动同一工作机的马达数量,或变换马达的联接方式(串、并联),都可以达到二次调节的目的。例如,某些行走机械在作业状态时,用以驱动四个行走轮的车轮马达全部并联到油路中,可得到较大的总输出转矩;而在运输状态时,则切除其中的两个马达,或把原来并联的马达切换为串联,这样泵流量不变却可获得较高的车速。为了减少拖动不工作马达引起的附加功率损失,通常需选用空载时能自由旋转的特种马达,或用机械离合器把它们与输出轴分离。

在某些场合,需要把几种二次调节方式综合起来运用,以获得特别大的有效转矩调节比。

合理选择二次调节的方式和参数,对于提高液压无级变速装置性能及改善其综合经济性具有重要意义,也是设计液压无级变速装置的主要技巧之一。例如,北京特种行走机械研究所研制的带液压无级变速装置的QFY系列飞机牵引车,由于合理选择了无级变量液压马达和双速机械变速器的双重二次调节系统,并精心匹配了各项液压和机械参数,使其总的高效转矩调节比超过16,稳定车速范围达0.3~0.5km/h,在牵引同样重量的飞机时,该系列牵引车所需的原动机功率比采用其它传动方式的要小得多,在车辆自重和形态布局方面也有明显的优越性。

由于液压无级变速装置的  $R_n$  一般都要比  $R_M$  值大得多,因此在选择参数时可不作重点考虑。

#### (2) 工作压力的确定

液压元件样本一般给出两个压力值:额定压力  $p_d$  和峰值压力  $p_{\max}$ ,  $p_{\max}/p_d$  的比值从1.25到2.0不等。这一比值表征了元件对于短时间超负荷的承受能力。

若液压无级变速装置用来驱动行走机械的连续运转,则  $p_{\max}$  对应于克服起步和突遇障碍的最大输出转矩  $M_{2\max}$ ,  $p_{\max}/p_d$  的比值应大于1.6。对于卷扬绞盘、混凝土搅拌滚筒等间歇运行而且负荷比较平稳的设备,该比值可选得较小,如1.25。据此可以确定装置的持续工作压差  $\Delta p_w$ 。它应小于  $p_d$  值,如不能满足这一要求,则应相应降低  $p_{\max}$ 。

表 31.4-4 一些行走机械的转矩调节比和可行的传动方案

| 机具类型       | 最高速度<br>(km/h) | 要求的高效率<br>转矩调节比 | 采用液压无级变速装置时的常用方案          | 备注            |
|------------|----------------|-----------------|---------------------------|---------------|
| 乘用摩托车      | ~80            | 2~3             | 变量泵+定量马达或内功率分流式传动         |               |
| 小轿车        | ~140           | 3~4             | 变量泵+定量马达或多档式功率分流传动        |               |
| 大轿车及载重汽车   | ~100           | 6~8             | 变量泵+定量马达+负荷换挡变速箱或多档式功率分流  |               |
| 铺装路面用叉车    | 25             | 3~6             | 变量泵+定量或变量马达               |               |
| 越野用叉车      | 30             | 6~8             | 变量泵+定量或变量马达+2~4档变速箱       |               |
| 大型轮式装载机    | 45             | 8~12            | 变量泵+变量马达+2~3档变速箱          |               |
| 中小型轮式装载机   | 25             | 4~8             | 变量泵+定量马达+2档变速箱            |               |
| 滑移转向式装载机   | 15             | 4~6             | 变量泵+定量或变量马达               | 两套传动装置分别驱动左右轮 |
| 履带式装载机、推土机 | 10             | 3~5             | 变量泵+定量或变量马达               |               |
| 自走式割草机     | 18             | 3~5             | 变量泵+定量马达                  |               |
| 大中型轮式拖拉机   | 30             | 8~15            | 变量泵+变量马达+2档变速箱            |               |
| 园艺拖拉机      | 18             | 3~5             | 变量泵+定量马达                  |               |
| 大中型自走收获机械  | 25             | 4~6             | 变量泵+定量马达+2~4档变速箱或变量泵+变量马达 |               |
| 振动压路机      | 15             | 3~4             | 变量泵+定量马达                  |               |
| 路面材料摊铺机    | ~20            | 3~5             | 变量泵+定量或变量马达               |               |
| 军用履带车辆     | ~80            | 8~12            | 多档功率分流式传动                 |               |

### (3) 液压无级变速装置的总效率

装置的总效率由泵、马达、管道及附加的机构减(变)速器和控制装置各自的效率决定。

$$\eta_T^R = \eta_T^P \eta_T^K \eta_T^G \eta_T^M \eta_T^F$$

式中  $\eta_T^R$ ——装置总效率；  
 $\eta_T^P$ ——泵的总效率；  
 $\eta_T^K$ ——控制装置的总效率，取决于其阀体内的流动与泄漏损失；  
 $\eta_T^G$ ——管道传输效率，取决于其流动损失；  
 $\eta_T^M$ ——马达的总效率；  
 $\eta_T^F$ ——附加机械传动装置的效率。

$\eta_T^R$  值随输入、输出参数而变化。图 31.4-15 示出一个泵和马达双重调节变速装置的等效效率曲线。可

以看出，它的高效区位于泵和马达转速和转矩的变排比均接近 1、压力中等的地方。选用液压无级变速装置时，应使工作机的主要工作点在该区域。

### 31.4.4 液压无级变速装置的调节特性

为了提高效率，现代液压无级变速装置绝大多数使用主油路中不含节流元件的容积式调节系统。通过改变泵和马达的排量来获得所需的输入、输出传动比。

#### (1) 输入转速恒定时的调节

交流异步电动机和带全制式调速器的柴油机的转速可视为恒定值，是液压无级变速器最常用的原动机。图 31.4-16 给出了当  $n_1$  不变时，装置的其他参数之间的相互关系。图中的实线表示不计损失的理想情况，并设泵和马达的最大排量相等 ( $V_{\max}^P = V_{\max}^M$ )。

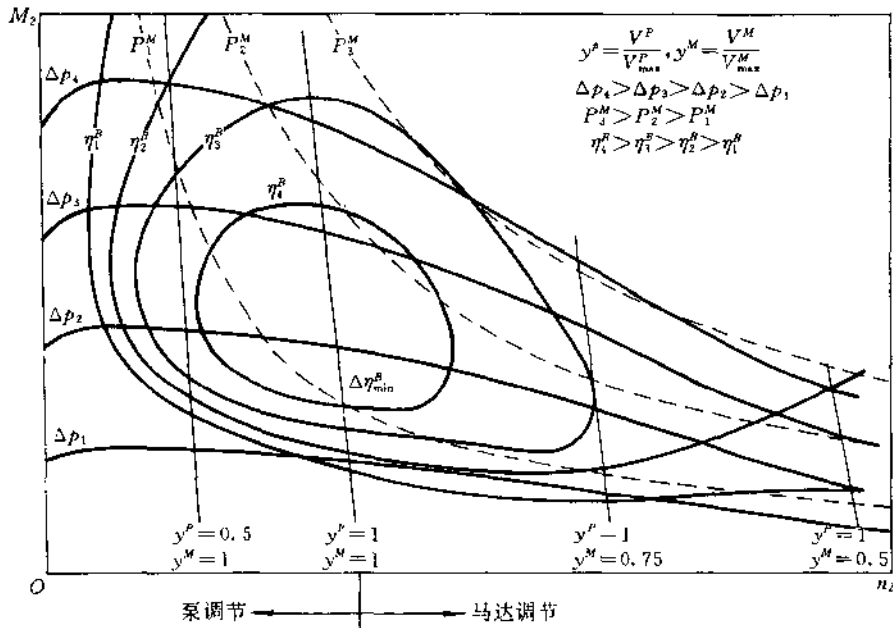


图 31.4-15 液压无级变速装置的典型等效率曲线

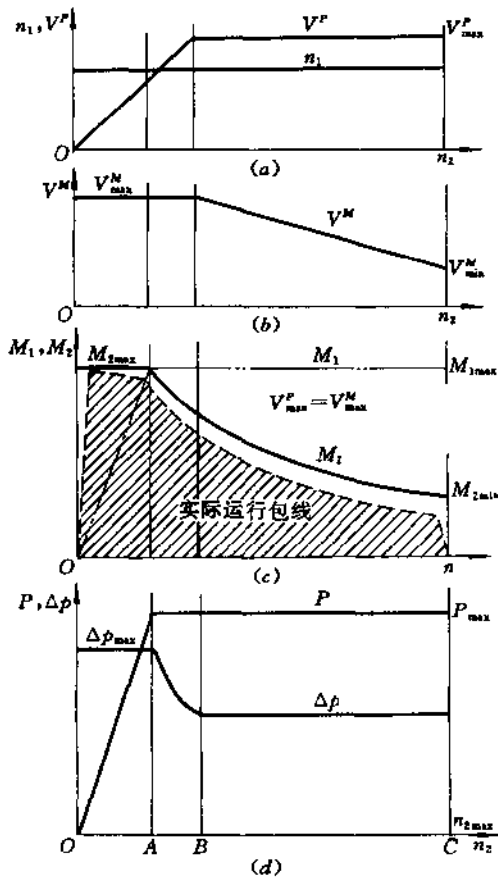


图 31.4-16 液压无级变速装置的典型调节特性

从  $n_2 = 0$  到  $n_2 = n_{2max}$  (C 点) 的整个调速过程可分为两段。OB 段为马达保持最大排量  $V_{max}^M$  不变, 泵的排量由 0 线性地调节到最大值  $V_{max}^p$  为一次调节; BC 段  $V_{max}^p$  保持不变, 马达排量由  $V_{max}^M$  调节到  $V_{min}^M$ , 为第二次调节。在采用定量马达的装置中, 没有二次调节的这一区段。

(A) 一次调节(变量泵调节)

一次调节区又分为两部分, 在起始的 OA 段, 受系统许用压力的限制, 输出转矩  $M_2$  和工作压差  $\Delta p$  保持在最大值, 输入转矩  $M_1$  和功率  $P$  同步地由零增到最大值。当泵的排量从 A 到 B 继续调大时, 由于  $M_1$  和  $P$  均已达到上限, 所以相应的工作压差必须下降, 输出转矩则从 A 点开始随泵排量的增加与转速  $n_2$  成反比地下降。一般称 OA 段为恒输出转矩区, AB 段为恒功率区。

(B) 二次调节(变量马达调节)

图 31.4-16 中的 BC 段为二次调节区。此时变量泵的排量保持在最大值, 马达排量则由  $V_{max}^M$  调小到  $V_{min}^M$ 。在这一过程中, 输入转矩  $M_1$ , 功率  $P$  和工作压差不变, 而输出转矩  $M_2$  则与  $n_2$  成反比地减少到  $M_{2min}$ 。BC 段也是恒功率区。

当考虑到装置中的能量损失时, 实际的输出转矩将如图 31.4-16(c) 中的虚线那样变化, 此虚线即为图 31.4-2 中所示的实际输出包线。

液压无级变速装置的转矩、功率和压差等实际上都是由工作机的负荷所决定的。因此,上述“恒转矩”和“恒功率”的概念都应理解为该装置所能承受的负荷界限。

马达的液压无级变速装置的实际输出特性曲线。可以看出,它的恒转矩—恒功率区转换点大体在  $n_2 = 650\text{r/min}$  的地方。同时,图中还给出了总效率  $\eta^R$  随  $n_2$  变化的情况。

图 31.4-17 为 Allgaier 67 型装有变量泵和变量

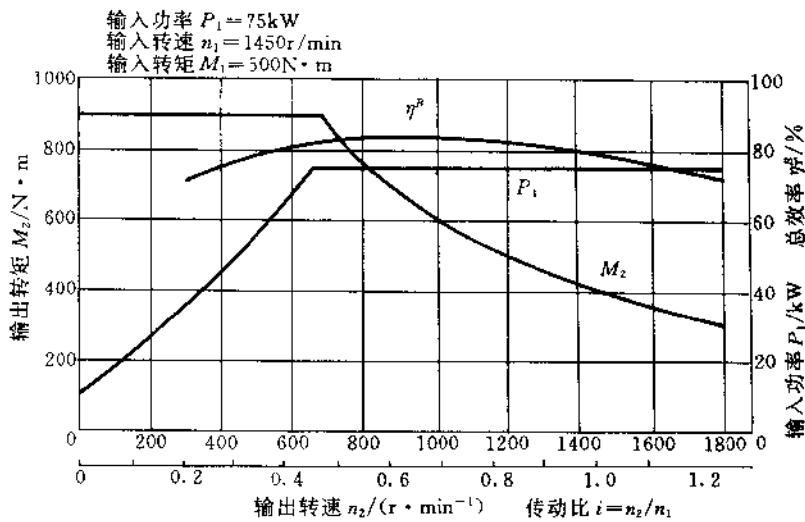


图 31.4-17 德国 Allgaier 公司 67 型液压无级变速装置的效率曲线

(C) 双速调节方式

以上所述的二次调节较复杂。实用中更多的是马达仅具有最大和最小排量两个有级变量工况的双速调节方式。

图 31.4-18 示出双速调节的输出特性。它相当于装有排量分别为  $V_{max}^M$  和  $V_{min}^M$  的定量马达和相同的变量泵的两台装置输出特性的叠加。其综合的输出包线与上述分段调节的一样。当马达为大排量时,可获得最大输出转矩,但输出转速有限;反之,马达为小排量时则对应着最高输出转速和较小输出转矩。这样的特性已可满足许多作业时低速大牵引力,空车转移时高速小拉力的卷扬机械的使用要求,而马达的变量系统却可显著简化。对于多个马达并联的分置式装置来说,要做到几个变量马达的排量同步地连续变化是很困难的,往往需要复杂的输出转速反馈系统。因此,一般也仅采用有级的双速调节方式。

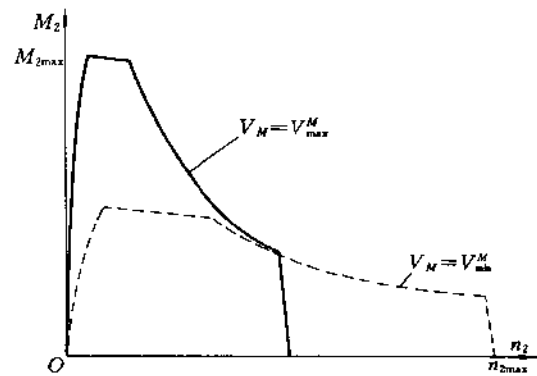


图 31.4-18 双速调节的输出特性

的性能。

对原动机进行的调节表现为  $n_1$  的变化。综合调节实际上就是使变速装置的调节参数与其输入转速  $n_1$  建立联系。

(2) 液压无级变速装置与原动机的综合调节

大多数行走机械采用内燃机(汽油机、柴油机和少量的燃气轮机)作为原动机,它们本身也有相当的调速能力。因此,有可能对两者进行综合调节,以获得更好

图 31.4-19 示出液压无级变速装置中  $V^P$  与  $n_1$  的关系以及  $n_2$  随  $n_1$  变化的三种典型情况。在图(a)中,  $V^P$  与  $n_1$  无关,  $n_2$  与  $n_1$  的关系曲线为一组以  $V^P$

为参量的通过零点的直线,  $V^P$  越大, 射线的斜率也越大(设马达的排量不变, 下同)。

在图(b)中, 当  $n_1$  超过某一最低值  $n_0$  (通常为内燃机的怠速转速) 后,  $V^P$  从零点起调, 并随  $n_1$  增加而逐渐增大。  $n_1$  在增加到  $n_w$  后暂时保持不变, 输出转速  $n_2$  仅随  $V^P$  的继续调大而增加, 直到  $V^P = V^P_{max}$  的 C 点。这以后调节机构使  $n_1$  继续增加,  $n_2$  仅随  $n_1$  变化直到  $n_{2max}$ 。  $n_w$  通常选为发动机的最大转矩或最低比油耗对应的转速, 而在  $n_w$  所能调节的  $n_2$  转速范围为常用工作转速。例如, 德国 Linde 公司的 H20/30 内燃叉车即采用了这种调节方式; 其发动机额定转速为 2100r/min, 对应的最高车速约 22km/h。它的  $n_w$  约为 1200r/min, C 点对应的车速为 11km/h。这使得发动机在叉车主要工作速度时保持在较低的油耗转速下运

行, 对减少油耗、噪声、排污和延长设备寿命均有利。

图(c)所示的是“自动”调节方式。泵排量的调节起点同图(b)一样在略高于  $n_0$  的地方, 此后  $V^P$  和  $n_1$  同时增加, 输出转速则以近似于抛物线的规律上升。直到  $V^P = V^P_{max}$  的 D 点。在 D 点以后, 由于  $V^P$  不能再变化, 所以  $n_2$  仅随  $n_1$  作直线关系的增加, 直到与  $n_{1max}$  对应的  $n_{2max}$ 。如果液压马达也是无级变量的, 则可得更为陡峭的调节曲线。这样的特性很接近于液力传动, 常用于推土机、装载机及要求“软”输出特性的行走机械上。

如图(b)、图(c)所示综合调节方式除了性能上的优点以外, 还由于把发动机的转速调节(“油门”)和液压无级变速装置的速比调节统一到了一个公共的操纵装置(通常为一踏板)而使操作更为方便, 也更接近于驾驶带自动变速器的汽车的习惯。

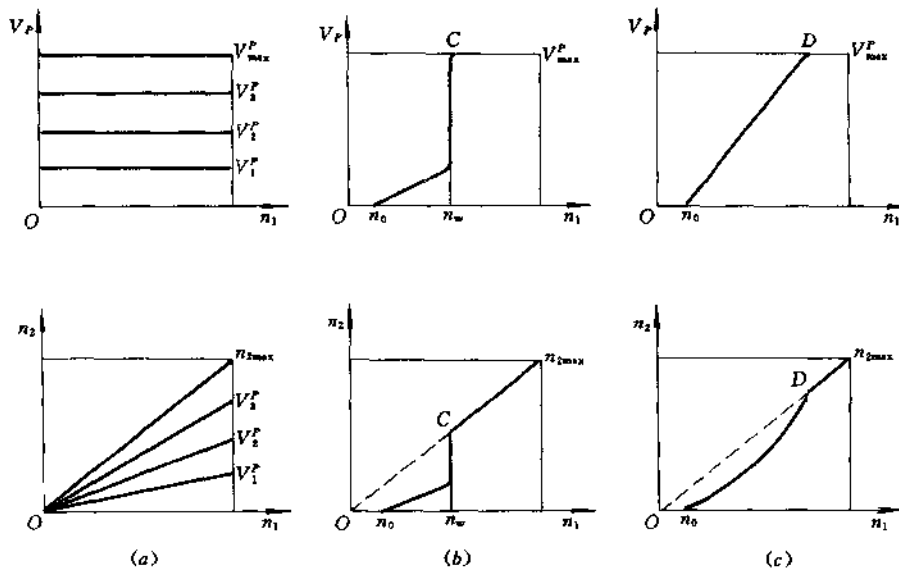


图 31.4-19 液压无级变速装置原动机的综合调节特性

综合调节的进一步发展是带有一定目标函数的优化调节。如图 31.4-20 所示方框图, 电子计算机系统的数据库中贮存有原动机、液压无级变速装置和工作机的特性数据, 中央处理机根据人们给定的目标函数(例如以最小的油耗输出给定的转速)、各传感器测出的实时工况参数及由数据库调出的有关特性数据, 按

照事先规定的数学模型迅速决定出应有的发动机单位时间的供油量  $G_e$  (控制  $n_1$ ) 及液压无级变速装置中泵与马达的变排比  $Y^P$ 、 $Y^M$  (控制传动比), 并通过机—电转换元件和反馈系统使发动机和传动机执行这些调节指令。



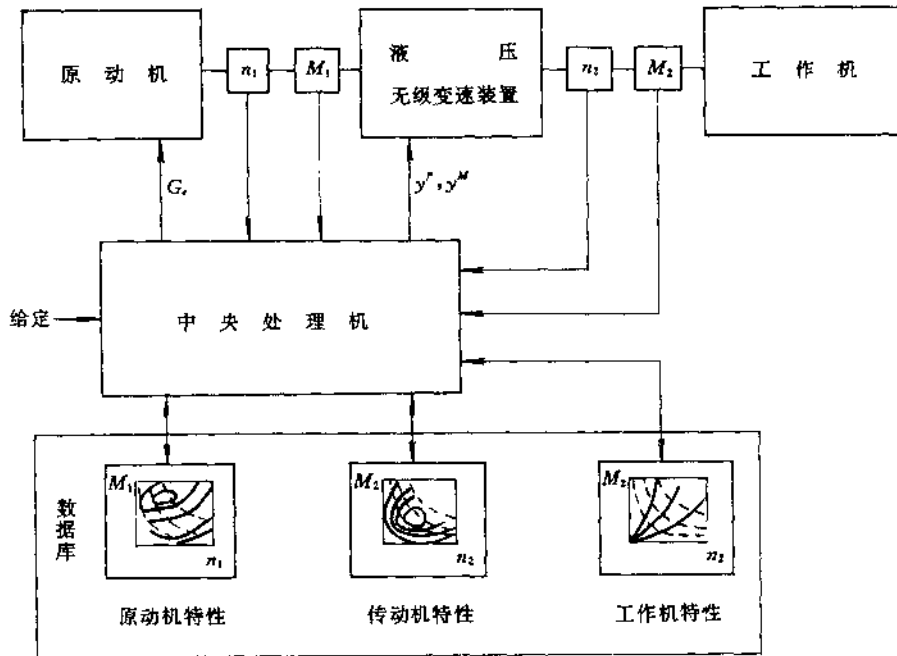


图 31.4-20 双速调节的输出特性

液压无级变速装置的连续可调性是实现上述综合调节的技术前提之一，尽管液压传动本身的效率低于机械变速器，但由于综合调节能保证发动机和变速装置两者的效率乘积始终保持较高的数值，这样的系统比发动机与只有有限的几个变速比的机械变速器共同工作时更为节省能量，这一点已为实践所证明。正是在这一点上，显示出液压无级变速装置的良好发展前景。

### (3) 调节机构的联动方式

早期的整体式液压无级变速装置的泵和马达的变量机构是用杠杆、凸轮等机械机构联动的，构造比较简单，但只能适应固定的调节程序。现在，它们已越来越多地为按可调程序动作的液压缸所取代。

液压泵和发动机的综合调节机构也是这样。泵的变量操纵杆不再是用机械装置与发动机的“油门”踏板简单地联动，而是根据液压或电子装置测出的发动机的实时转速来控制。这使得不论任何原因引起发动机转速下降时，都能自动地调小它所驱动的液压泵的排

量，从而有效地避免了发动机的超负荷和熄火。

### 31.4.5 功率分流式液压无级变速装置

一般的液压无级变速装置的全部功率均通过液压泵和马达传输，它虽然有前述的种种优点，但其本身的传动效率和功率密度较之机械传动毕竟略逊一筹。因此，在大功率无级变速装置中，有时采用由液压装置和机械装置“并联”传递动力的方案，以发挥液压装置调节性能好和机械传动效率较高两方面的特长，这称为功率分流式液压无级变速装置。按其结构，又可分为两类，第一类利用行星齿轮式差速器分流，称为外分流式；第二类利用液压泵或马达转子与外壳间的差速运动分流，称为内分流式。

#### (1) 外分流式液压无级变速装置

外分流式装置利用行星齿轮差速器来汇集或分配机械和液压两股功率流。当液压泵和马达跨接在装置的输入轴和差速器之间时，称为“输入分流”，如图 31.4-21(a)。反之，当它位于差速器和输出轴之间时，则称为“输出分流”[图(b)]。

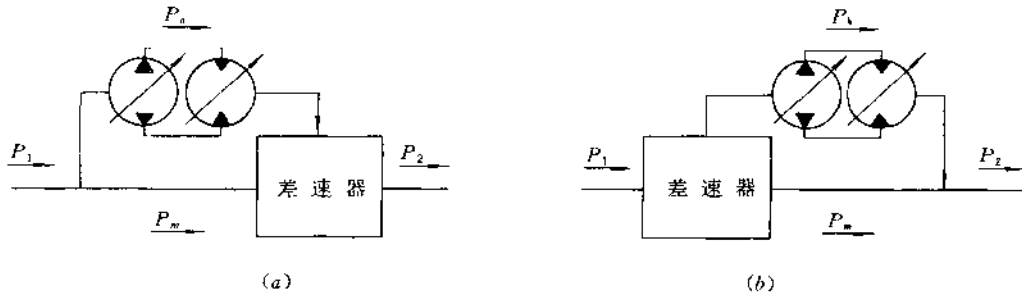


图 31.4-21 输入分流和输出分流变速装置示意图

(a) 输入分流; (b) 输出分流

(A) 输入分流

图 31.4-22 是一种带有外啮合行星差速器的输入分流式液压无级变速装置结构简图。它的输入轴 1 在驱动差速器的小太阳轮  $Z_1$  的同时, 还通过一对齿轮驱动变量泵 6。  $Z_1$  通过框架 3 上的双联行星齿轮

$Z_1$ 、 $Z_2$  与输出轴 2 上的大太阳轮  $Z_4$  啮合。输入功率  $P_1$  被分为两股功率流: 一股通过变量泵 6、马达 8 传到差速器框架 3 为液压功率流  $P_h$ ; 另一股机械功率流  $P_m$  由小太阳轮  $Z_1$  传到行星轮  $Z_2$ 、 $Z_3$  上。  $P_h$  与  $P_m$  最后汇合于大太阳轮  $Z_4$  上成为输出轴 2 上的功率  $P_2$ 。

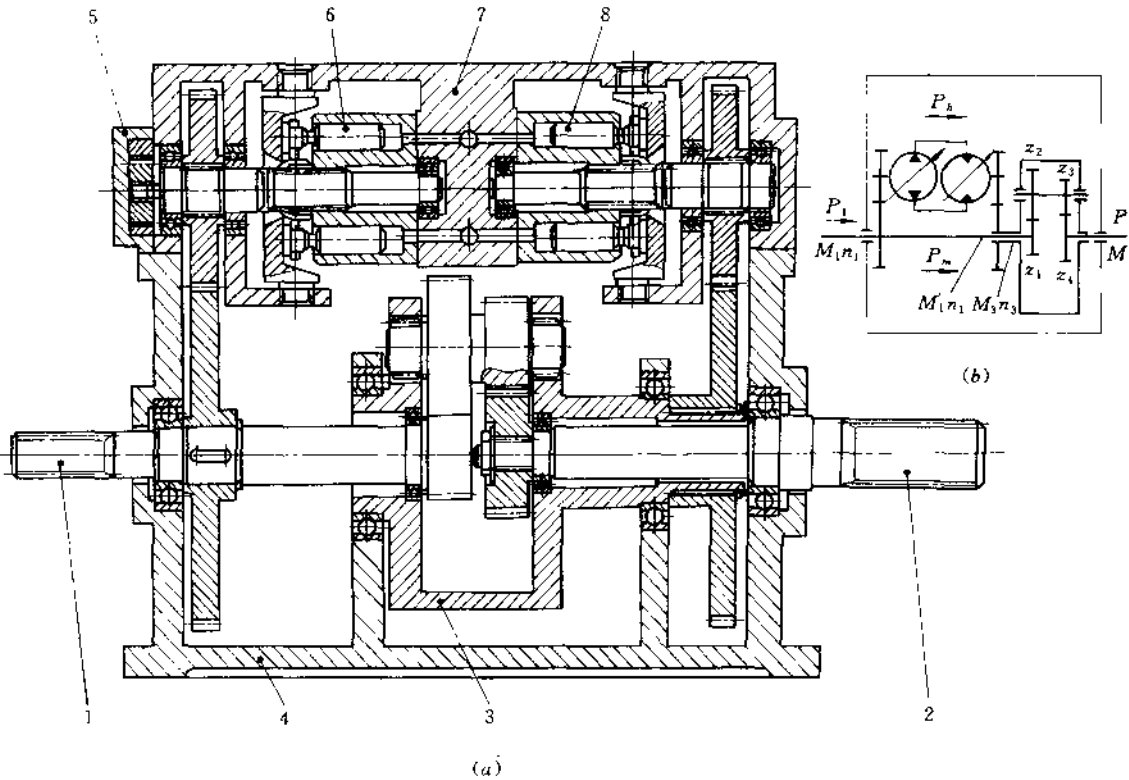


图 31.4-22 一种输入分流式液压无级变速装置结构简图

1—输入轴; 2—输出轴; 3—差速器框架; 4—机座; 5—补油泵; 6—变量泵; 7—配油座; 8—变量马达

行星齿轮有三个互相联系的基本构件, 在本例中有小太阳轮  $Z_1$  (轴 1)、大太阳轮  $Z_2$  (轴 2) 和带空心轴的框架 3。在这三个构件上的转速、转矩和功率分别为  $n_1, M_1, P_1; n_2, M_2, P_2$  和  $n_3, M_3, P_3$ 。对于功率分流传动来说, 差速器三个构件中的任两个都可以分别选为输入和输出轴, 剩下的第三个称为控制轴。三个构件的组合方案不同时所具有的特性也不同。在本例中, 1 为输入轴, 2 为输出轴, 框架 3 的空心轴为控制轴。

该行星差速器的特征常数  $K$  由下式确定

$$K = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 Z_3} \quad (31.4-1)$$

传动比

$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1}; \quad i_{31} = \frac{n_3}{n_1} \quad (31.4-2)$$

由二自由度行星差速器理论可知, 其转矩比

$$\frac{M_2}{M_1} = K \quad (31.4-3)$$

$$\frac{M_3}{M_1} = K - 1 \quad (31.4-4)$$

负号表示转矩方向与输入轴的相反。

当不计损失时, 差速器三个构件上的转矩和功率关系为:

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0 \quad (31.4-5)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0 \quad (31.4-6)$$

由以上各式可得到  $i_{21}$  与  $i_{31}$  之间的关系为

$$i_{21} = \frac{K-1}{K} i_{31} + \frac{1}{K} \quad (31.4-7)$$

调节变量泵 6 和马达 8 的排量可以人为地改变  $i_{31}$  的值。式(31.4-7)反映了  $i_{31}$  的变化对整个变速装置传动比  $i_{21}$  的影响。这一关系示于图 31.4-23 (a)。

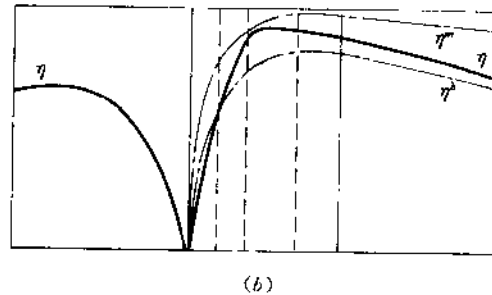
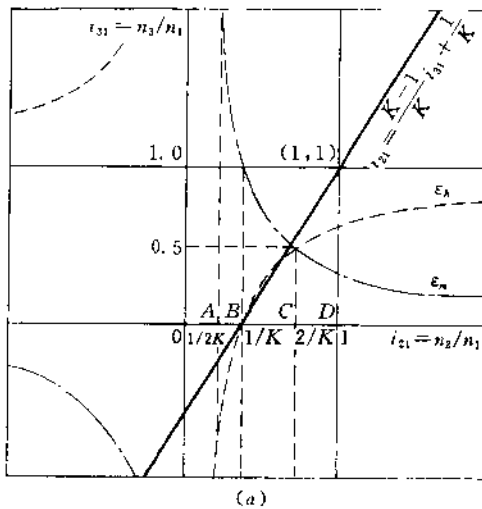


图 31.4-23 输入分流装置的基本特性与效率变化趋势

考虑一般使用习惯, 图中把代表输出转速或速度的因变量  $i_{21}$  作为水平坐标。图中,  $i_{21} = f(i_{31})$  的函数图象为一水平直线, 其截距为  $1/K$ , 斜率为  $K/(K-1)$ 。

由能量守恒定律可知, 液压功率流  $P_h$  与机械功率流  $P_m$  之和在不计损失时应等于输出功率  $P_n$ , 即

$$P_h + P_m = P_2 \quad (31.4-8)$$

$P_h$  和  $P_m$  与  $P_2$  之比  $\epsilon_h$  和  $\epsilon_m$  分别称为液压的和机械的功率分流比, 即

$$\epsilon_h = \frac{P_h}{P_2}; \quad \epsilon_m = \frac{P_m}{P_2}$$

$$\text{并有} \quad \epsilon_h + \epsilon_m = 1 \quad (31.4-9)$$

在本例中,  $M_2 n_2$  和  $M_3 n_3$  分别对应于输出功率  $P_2$  和液压流功率  $P_h$ , 因此有

$$\epsilon_h = \frac{M_3 n_3}{M_2 n_2} = 1 - \frac{1}{K i_{21}} \quad (31.4-10)$$

和

$$\epsilon_m = 1 - \epsilon_h = \frac{1}{K i_{21}} \quad (31.4-11)$$

式(31.4-10)和(31.4-11)表明了  $\epsilon_h$  和  $\epsilon_m$  随  $i_{21}$  变化的规律。在图 31.4-23(a)中,它们是两组双曲线。

在不计损失的条件下,该传动装置从  $i_{21}=0$  起始的调节过程可作如下描述:

在  $O$  点,  $i_{21}=0$ , 即  $n_2=0$ , 对应的  $i_{21} = -(K-1)$ , 这表明此时的框架必须反转,其转速  $n_3 = -(K-1)n_1$ , 这使得在大太阳轮  $Z_4$  节点上的合成速度为零。此时若需启动,则  $\epsilon_m$  和  $\epsilon_h$  的理论值为正、负无穷大。负号表示由输出端向输入端逆向传输。

从  $O$  点开始,随着  $i_{21}$  的增大,  $\epsilon_h$  和  $\epsilon_m$  的绝对值都开始下降,到  $i_{21} = 1/2K$  的  $A$  点时,  $\epsilon_h = -1$ ,  $\epsilon_m = 2$ 。此时液压马达泵逆向功率流的绝对值与装置的输出总功率相等,而机械功率流则为其 2 倍。在  $i_{21} = 1/K$  的  $B$  点,  $i_{21} = 1$ , 框架静止不动,整个装置相当于一个两级的定轴式减速器。理论上这点的  $P_h = 0$ ,  $P_m = P_2$ , 即输入的全部功率均通过机械功率流传输,液压泵和马达仅起到使框架空心轴制动在静止状态的作用。 $i_{21}$  从  $B$  点继续增大时,  $\epsilon_h$  经过零点变成了正值,  $\epsilon_m$  降低到 1 以下,液压和机械功率流都小于输出功率,开始了本来意义上的“并联”分流传输功率。在  $2/K$  的  $C$  点,  $\epsilon_h = \epsilon_m = 0.5$ , 意味着液压功率流与机械功率流相等;  $i_{21}$  大于  $2/K$  后,  $P_h$  将开始超过  $P_m$ , 在  $i_{21} = 1$  的  $D$  点  $i_{22} = i_{21} = 1$ , 也即  $n_1 = n_2 = n_3$ , 差速器的三个构件如同一个刚体一样以相等的转速旋转,相当于机械变速器的“直接档”。此时的  $\epsilon_h = (K-1)/K$ ,  $\epsilon_m = 1/K$ 。随着  $i_2$  的继续增加,  $\epsilon_h$  上升并逐渐趋近于 1,  $\epsilon_m$  趋近于零,表明液压功率流传输的功率比例逐渐增加。

如果要求输出轴反转 ( $n_2 < 0$  和  $i_{21} < 0$ ), 则只有使框架转速  $n_3$  达到比  $-(K-1)n_1$  更高的反转速度时才能实现。此时  $\epsilon_h$  始终大于 1, 表明液压功率始终大于装置输出功率,而机械功率则逆向传输更大的循环无功功率。

由于机械传动的效率高于液压传动,所以为减少功率损失,希望尽可能减小液压功率分流比  $\epsilon_h$ , 尤其要避免出现  $|\epsilon_h| > 1$ , 即装置中出现逆向传输的无功功率的情况。图 31.4-23 为在上述调节过程中总效率  $\eta$  变化的示意图。它说明,该装置在输出轴反转时的效率很差,甚至低于“纯”液压传动的效率  $\eta^h$ 。在输出轴的正转区中的  $OA$  段,  $\eta$  也低于  $\eta^h$ 。在  $AB$  段, 虽然  $|\epsilon_m| > 1$ , 说明机械传动的循环功率较大,但由于  $\epsilon_h$

已小于 1, 总效率  $\eta$  仍然可能大于  $\eta^h$  而介于  $\eta^h$  和  $\eta^m$  之间。在  $B$  点,  $\epsilon_h = 0$ , 总效率达到最大值。过了  $B$  点以后,由于  $\epsilon_f$  又开始增加,所以  $\eta$  值随之下降,但仍然始终高于  $\eta^h$ 。

如果能用某种机械制动器和离合器在  $B$  点使框架轴制动,在  $D$  点使差速器三个构件联锁(仅需使其中任二个联锁即可),则在这两个特殊工作点使液压传动元件完全卸荷,而全部输入功率均由机械构件传输,并使这两个工况时的总效率达到纯机械传动的水平。

以上的分析虽然仅是针对一个特例作出的,但其基本规律对于所有由输入轴分别驱动液压泵和行星差速器的输入分流式无级变速装置都是适用的。常见的采用内啮合行星齿轮差速器的外功率分流无级变速装置(图 31.4-24),在传动方案上与图 31.4-22 所示的带外啮合差速器的装置实际是等价的。只是按照习惯,对于内啮合行星差速器,其特征常数

$$K' = \frac{Z_3}{Z_1} \quad (31.4-12)$$

如令  $K = K' + 1$ , 则式(31.4-2~31.4-10)及图 31.4-23 所示特性也完全适用于图 31.4-24 所示的方案。

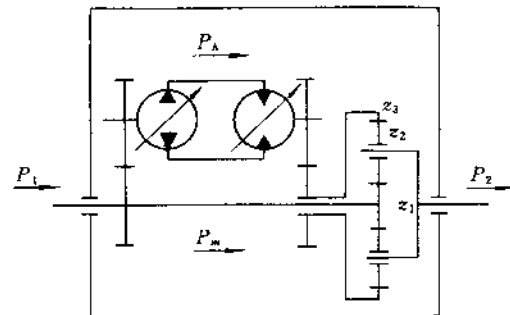


图 31.4-24 装有内啮合行星差速器的输入分流装置简图

$K$  值的大小对两自由度行星差速器的特性影响很大。图 31.4-25 表示输入分流的液压无级变速装置的特性与  $K$  值的关系。在图示坐标系中,关系式  $i_{21} = \frac{K-1}{K}i_{31} + \frac{1}{K}$  表现为通过  $(1, 1)$  和  $(\frac{1}{K}, 0)$  两点的直线,  $K$  值不同时,该直线的截距和斜率均不同。  $K = \infty$  相当于纯液压传动,  $K = 1$  相当于纯机械传动(构件等效于一个齿轮联轴节)。

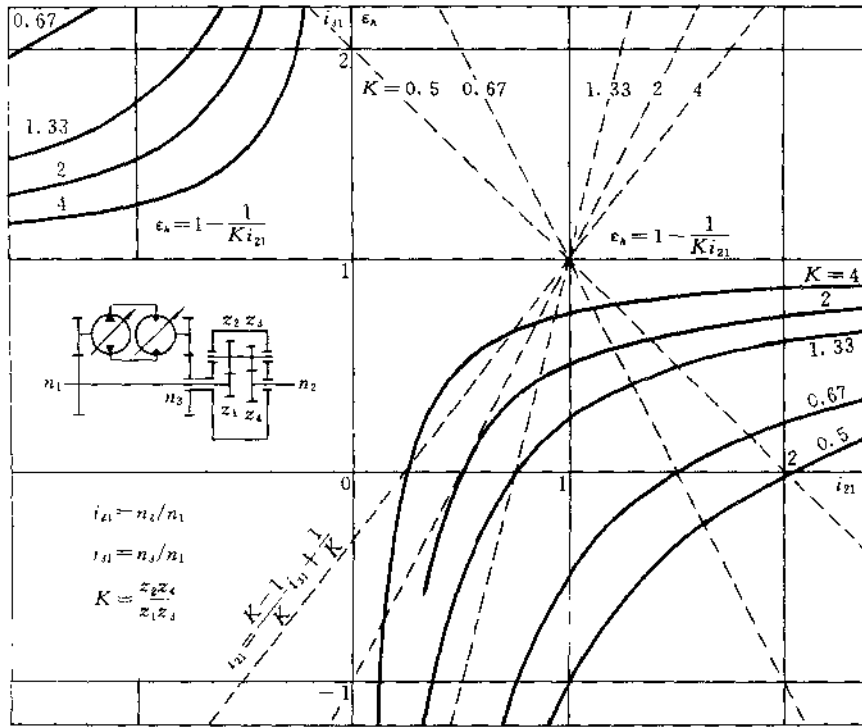


图 31.4-26 输入分流装置的传动比、分流比与 K 值的关系

$K > 1$  时, 装置的主要工作区对应于  $n_2 < n_1$  的减速传动。 $K$  值越大, 对应于  $i_{21} = 0$  的“机械档”的工作点越向左移。 $\epsilon_h$  为正值且小于 1 的区域也越宽, 但同时液压—机械功率平分点(对应于  $i_{21} = 2/K$ )也向左移, 说明在  $n_2$  的高速区  $\epsilon_h$  值将增大, 效率下降, 因此  $K$  值也不宜过大。对于工作速度和运输速度具有明显差异的工程机械、农业机械使用的功率分流式无级变速装置来说, 通常可把  $n_2 = n_1$  的“直接档”(对应于  $i_{31} = i_{21} = 1$ ) 设计成与常用运输速度相对应, 而把  $i_{21} = 1/K$  时的“机械档”选择得对应于最常用的或负荷最大的工作速度。按这一原则, 这类机具的变速装置的  $K$  值可选为 2~4。

$K < 1$  的方案多用于增速传动, 因为此时的  $n_2 = n_1$  的“直接档”也在液压功率流为负值的区域内。对于外啮合行星差速器(图 31.4-22),  $K < 1$  对应于  $Z_1 > Z_2$ , 即输入轴为大太阳轮的结构。而对于内啮合行星差速器,  $K < 1$  时的传动方案应为: 输入轴与齿圈相连, 液压马达驱动太阳轮。

(B) 输出分流

图 31.4-26 给出了一个采用外啮合行星差速器

的输出分流无级变速装置的简图, 它的液压泵与框架相联, 而马达与输出轴即大太阳轮相联。差速器特征常数  $K$  与式(31.4-2)相同。通过类似于上节的分析, 可得该输出分流装置的一些关系式。

传动比

$$i_{21} = \frac{1}{K - (K - 1)i_{22}} \quad (31.4-13)$$

式中  $i_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \quad i_{32} = \frac{n_3}{n_2}$

液压功率分流比

$$\epsilon_h = \frac{M_3 n_3}{M_1 n_1} = K i_{21} - 1 \quad (31.4-14)$$

机构功率分流比

$$\epsilon_m = 2 - K i_{21} \quad (31.4-15)$$

与输入分流相同,  $\epsilon_h + \epsilon_m = 1$ 。

图 31.4-27 为上述输出分流装置在  $K$  值不同时传动比与液压功率分流比的特征曲线。与输入分流装置相类似, 它也有“机械档”、“直接档”等几个特殊工作点。不同之处在于, 输出分流装置的传动比变化是非线性的, 在正、反输出转向间有一间断点, 需要采用双向变量马达来换向。但其液压功率分流比为线性关

系,当  $K < 1$  时,  $\epsilon_h$  变化比较平缓,高效区较宽。

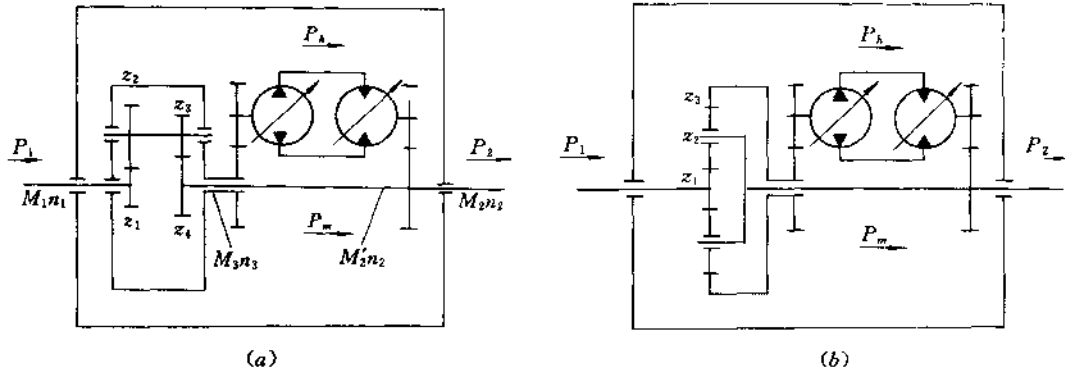


图 31.4-26 两种输出分流装置的简图  
(a) 采用外啮合差速器; (b) 采用内啮合差速器

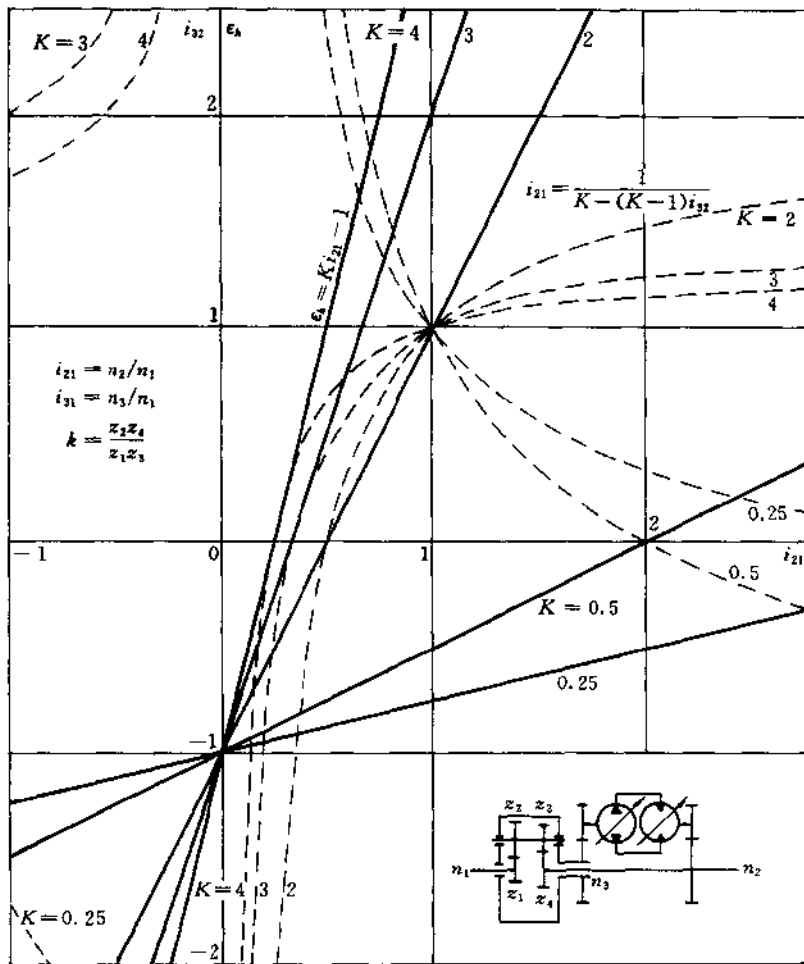


图 31.4-27 输出分流装置的传动比、分流比与 K 值的关系

当采用内啮合行星差速器时[图 31.4-26(b)]其等价的传动方案是:输出轴与框架和液压马达相连;减速传动时,输入轴与太阳轮、液压泵与齿圈相连;增速传动时,两者连接关系互换。在采用式(31.4-13~15)和图 31.4-27 中的曲线时,应按  $K = K' + 1$  的关系将内啮合差速器的特征常数  $K'$  换算为  $K$ 。

以上介绍的是几种常用的输入和输出分流方案。外分流式装置中差速器的三个构件与输入、输出和控制轴之间的连接关系还可以有其他一些组合方案,对

它们也可以按上述步骤进行分析。这些关系同样也适用于带液力、电力或机械无级变速装置的外分流式传动。

(2) 内分流式液压无级变速装置

图 31.4-28 是一种内分流式变速装置的简图。输入轴 1 在驱动液压泵转子(缸体)3 的同时,还经过中间轴 5 驱动马达壳体 6。液压泵的固定壳体 2 和马达的旋转壳体之间连接主油路的回转接头 4。马达的缸体 7 驱动输出轴 8。这是一种马达差速的装置

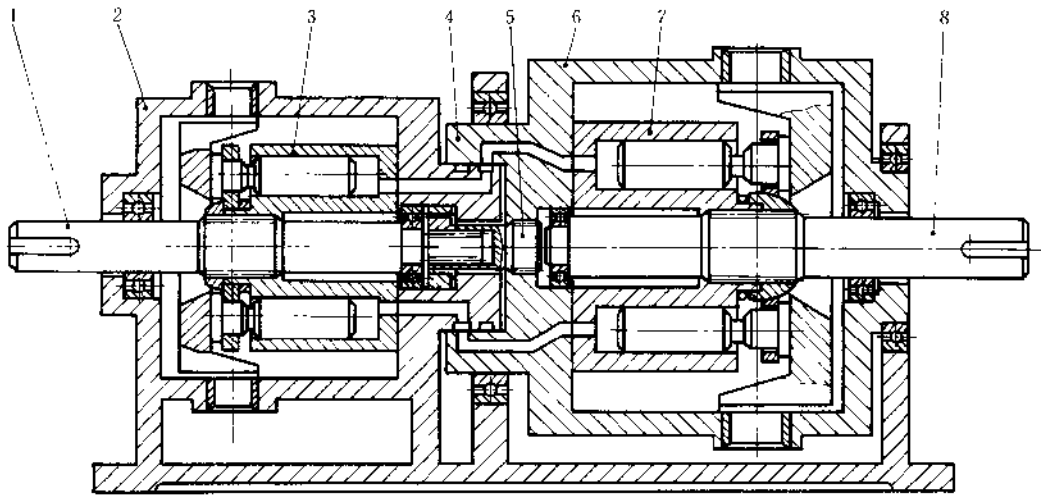


图 31.4-28 马达差速的内功率分流装置结构简图

- 1—输入轴;2—固定的泵壳体;3—泵缸体;4—回转接头;
- 5—中间轴;6—旋转的马达壳体;7—马达缸体;8—输出轴

在这个装置中,轴 1 上的输入功率  $P_1$  在液压泵中被分为中间轴 5 上的机械功率  $P_m$  和主油路接头 4 中的液压功率  $P_h$ ,这两股功率流又通过马达的旋转壳体 6 和缸体 7 汇集到轴 8 上成为输出功率  $P_2$ 。

当不计损失时,有

$$P_2 = P_1 = P_h + P_m \quad (31.4-16)$$

输出转速  $n_2$  为输入转速  $n_1$  与马达缸体相对于壳体的转速  $n^M$  的代数

$$n_2 = n_1 + n^M \quad (31.4-17)$$

$n^M$  取决于两个液压元件的排量比

$$n^M = \frac{V^P}{V^M} \cdot n_1 \quad (31.4-18)$$

当  $n^M$  与  $n_1$  同向时,设  $V^P$  为正;反向时,  $V^P$  为负。

由式 31.4-17 和式 31.4-18 可得

$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V^P}{V^M} + 1 \quad (31.4-19)$$

液压功率分流比

$$\epsilon_h = \frac{P_h}{P_1} = \frac{M^M n^M}{M_2 n_2}$$

式中,  $M^M$  为马达缸体与壳体间的转矩。

由于  $M^M = M_2$ , 因此

$$\epsilon_h = \frac{n^M}{n_1} = 1 - \frac{1}{i_{21}}$$

$$(31.4-20)$$

机械功率分流比

$$\epsilon_m = 1 - \epsilon_h = \frac{1}{i_{21}} \quad (31.4-21)$$

上述液压泵轴与马达壳体直连的结构只是马达差速分流装置中的一个特例,实用中泵和马达之间也可用具有一定传动比的齿轮副连接。设此传动比为  $K$ , 则式(31.4-19)、(31.4-20)和(31.4-21)应改写为更具普遍意义的形式

$$i_{21} = \frac{V^P}{V^M} + \frac{1}{K} \quad (31.4-22)$$

$$\epsilon_h = 1 - \frac{1}{Ki_{21}} \quad (31.4-23)$$

$$\epsilon_m = \frac{1}{Ki_{21}} \quad (31.4-24)$$

图 31.4-29 是该装置的一些特性曲线。函数  $i_{21}$   $= f\left(\frac{V^r}{V^M}\right)$  的图像是一组与水平坐标轴成  $45^\circ$  夹角的斜线, 它们与水平轴的交点为  $(1/K, 0)$ 。对应的  $\epsilon_h = f$

( $i_{21}$ ) 是通过该交点的双曲线, 这与前述输入分流外功率分流装置的特性有某些相似之处。不同之处在于, 此时  $i_{21} = 1/K$  的“机械档”对应于马达缸体和壳体之间为液压介质所制动的状态, 实际上也是“直接档”。在这一工况下, 主油路中流量为零, 液压功率  $P_h = 0$ , 装置的效率将达到峰值。在正转的低速区和反转区, 液压功率流中的循环无功功率较大, 使装置的总效率低于液压传动效率。

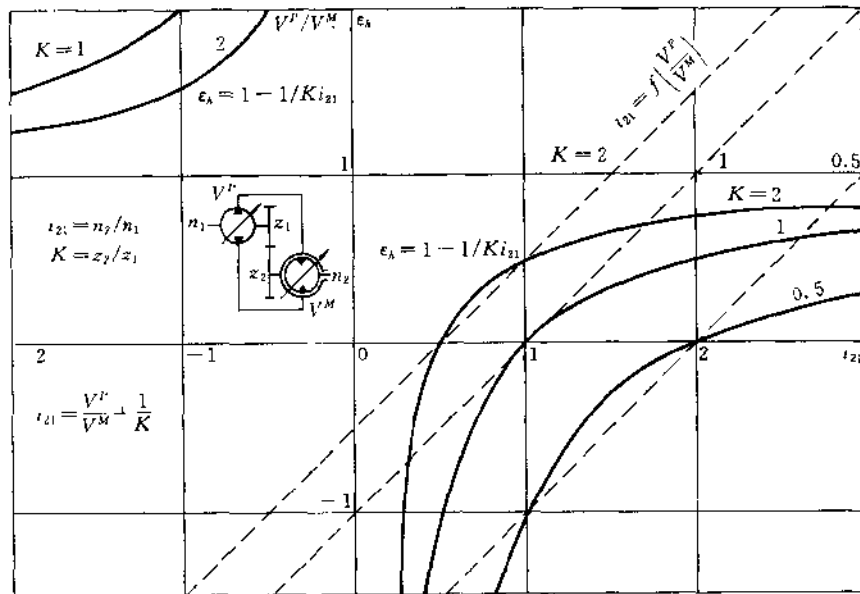


图 31.4-29 马达差速的内功率分流装置特性

与外分流装置的情况相类似, 内功率分流装置也可以有几种不同的方案。其组合原则是: 液压泵的转子(如缸体)和壳体、马达的转子和壳体这四个构件中应该而且只能有一个是与机座相连接的, 其余三个相对旋转的构件中有两个属于不同元件上的构件, 它们同轴直连或通过具有一定传动比的机构和轴相连, 作为一根输入(出)轴; 剩下的一个旋转构件作为另一根输出(入)轴。如前图 31.4-28 所示装置的组合方案是: 液压泵壳体固定, 液压马达转子(缸体)与马达壳体相连作为输入轴; 马达转子(缸体)作为输出轴。

内功率分流装置省去了差速器和相应的传动部件, 结构比较紧凑, 也减少了附加的机械损失。但是它的工作原理要求泵或马达制成壳体和转子都旋转的“双动”式结构, 这给油路的连接和控制装置的布置带来很大困难, 同时还有动平衡方面的麻烦。因此它的结构比较复杂, 通常只用于中小功率的传动。

### (3) 可变传动方案的功率分流式液压无级变速装置

从以上两节的分析可知, 为了获得高效率, 液压功率分流比不可以太大, 尤其不希望有循环功率的产生。因此, 简单分流装置的变速范围通常限制在正转区“机械档”和“直接档”之间的较窄区间。加宽变速范围, 就要牺牲一些效率。对于不同的分流型式和不同的特征参数、液压分流比的变化, 高效区的位置与宽窄都是不同的。在进行液压功率分流装置设计时, 要根据具体机械设备的要求, 进行合理的选择。

例如, 对风机、水轮机、螺旋桨等叶轮机械, 其功率一般都比较大, 有时可达几千甚至上万千瓦, 为了提高效率, 液压功率分流比只能限制在较小的范围内(一般  $\epsilon_h < 0.3$ ), 而转速只能在有限的范围内调节。英国 Allen 公司生产的风机用行星齿轮增速装置, 采用了输出分流方案。输入转速 1500r/min, 额定输出转速



4500r/min, 最大功率可达一万千瓦。它在调速率不超过30%时的效率高达95.5%。因为风机水泵等叶轮机械的通过流量和功率消耗分别与其转速的平方和三次方成正比, 所以, 10%~30%的调速率对这类机械的流量调节和节能运行已有很大意义。

对于行走机械的传动装置, 常要求一个较宽的高效无级变速范围, 简单的分流装置往往不能满足要求。为此需要采用可变动传动方案的功率分流装置, 一般有以下几种选择:

- 在传动装置输出端串联机械变速箱, 用换挡避开反转等不利工况;
- 利用离合器、制动器在适当工作点改变液压元件和差速器构件的连接方案, 充分发挥各方案在不同工况区的特长;

- 利用机械换挡装置改变差速器的特征常数  $K$  值及各构件与液压泵、马达之间的传动比;

- 内、外分流方案的混合使用, 输入、输出分流的混合使用;

- 纯液压传动和功率分流式传动混合配置。

图 31.4-30 给出了一种可变方案的内功率分流式变速装置示意图。输入轴 1 驱动变量泵的缸体 3, 泵的可旋转壳体 4 通过齿轮 2 与空套在输出轴 10 上的齿轮 9 啮合, 轴 10 上装有离合器 8, 并与马达缸体 7 相联。这个装置有两种工况: 当离合器 8 分离, 而制动器 5 使泵的壳体单动时, 泵和马达构成纯液压驱动, 用于倒档和低速档; 当制动器 5 释放而离合器 8 结合时, 则由缸体和壳体均旋转的“双动”变量泵和马达构成内分流式的液压变速装置。

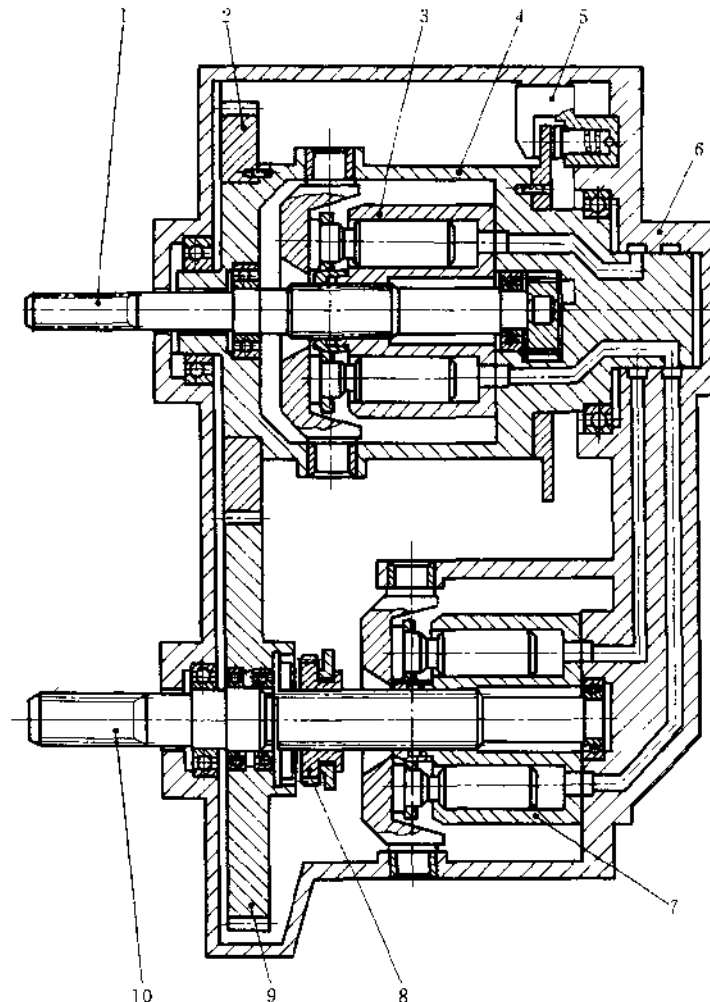


图 31.4-30 可变方案的内功率分流式变速装置的结构简图

1—输入轴; 2—主动齿轮; 3—泵缸体; 4—泵的旋转壳体; 5—制动器; 6—回转接头;  
7—马达缸体; 8—离合器; 9—从动齿轮; 10—输出轴

内、外功率分流式液压无级变速装置的结构都比纯液压传动装置要复杂,采用可变方案的功率分流装置更增加了结构上和控制方面的复杂性。而且这类机构原则上只适用于整体式变速装置。尽管存在着这些缺点,但功率分流式液压无级变速装置在性能方面的优越性却仍然使它获得越来越多的应用,并将使液压传动得以挤进高速车辆变速装置这一机械和液力传动的传统领域。

目前,功率分流式液压无级变速技术最重要的应用领域是大、中型高速履带车辆(坦克、自行火炮、装甲步兵战车、履带式牵引车、大功率推土机等)的转向装置。图 31.4-31 是此种装置的原理简图。按兵工部门的习惯术语,通常称其为“双功率流静液压转向装置”。图中,发动机 1 输出的功率被分成机械和液压两个功率流分支,机械功率流经主变速器 2 和中央锥齿轮副传至左右两侧行星差速器的太阳轮,而液压功率流则由变量泵 5 和定量马达 6 组成的液压无级变速装置及一组“零轴”传动系统传至左右行星差速器的齿圈,并在该二个差速器中与机械功率流相汇合(坦克技术术语中因此将此二差速器称为“汇流行星排”)。

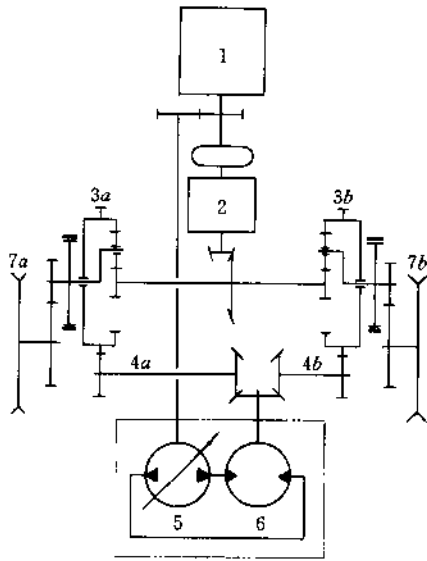


图 31.4-31 履带车辆功率分流液压无级转向装置简图  
1—发动机;2—主变速器;3—行星差速器(“汇流行星排”);4—转向“零轴”;5—转向变量泵;6—转向定量马达;7—驱动轮

当转向变量泵 5 的排量为零时,如果忽略液压系统中的漏损,则马达 6 的输出转速为零,与它有固定啮合传动关系的左右行星差速器 3 中的齿圈也是静止

的,左右差速器都成为具有相同传动比(均等于  $K+1$ )的行星减速器运转,此时左右履带线速度相同,车辆直线行驶。

当驾驶员操纵转向变量泵 5 的变量装置使其输出一定的流量时,马达 6 将向相关的方向旋转,由于转向“零轴”的传动系统布置得使与之耦合的左、右行星差速器的齿圈彼此间总是反向旋转的,由于行星差速器的作用,与太阳轮旋向相同的齿圈的转动将使框架的输出转速增加,而另一侧旋向相反的齿圈将使框架转速降低。这样,“零轴”的转动即会造成与左右行星差速器框架相联接的左右履带线速度的差异,并因此使履带车辆转向。受液压无级变速装置控制的转向“零轴”的转速和转向决定了履带车辆的转向轨迹,“零轴”转速越高,左右履带速度差就越大,转向半径就越小;而“零轴”的旋转方向则决定了车辆偏转方向。在这样的装置中,由于液压无级变速装置能使左右履带速度差无级地变化,因而保证了履带车辆的转向半径也能无级地变化,较之只能具备有限数量转向半径的机械式转向机构优越得多,已为现代高速履带车辆所广泛应用。

在先进的军用履带车辆上,不仅带有辅助传动性质的转向系统采用了功率分流液压无级变速装置,而且在主传动中也开始实际采用传动方案可变的功率分流式液压无级变速装置,其中最著名的是美国通用电气公司研制的 HMPT 500 型传动装置及其派生产品,图 31.4-32 是它的传动简图。

该装置为传动车辆左、右履带各配置了一套由径向球塞变量液压泵和径向球塞定量液压马达构成的整体式液压无级变速单元,并用程序控制的制动器 2、3 和离合器 4 来实现传动路线的切换。在前进 I 档和倒档时,横轴及与其相联的左右行星差速器的齿圈被制动器 3 制动,II 档制动器 2 松开,III 档离合器 4 分离,此时发动机的动力完全由两组液压无级变速器分别传到左右履带驱动轮上,并通过对这两个变速器同步或差动的调节实现车辆的直线进退或左右转向行驶。当左右变速器输出轴等速反向旋转时,车辆可绕自身中心原地回转。当前进 II 档时,II 档制动器 2 制动,III 档离合器 4 分离,横轴制动器 3 则松开。此时构成一套功率分流传动装置。在机械功率流由 II 档行星差速器 11 分别传至中心行星差速器 7 和左右侧差速器 10 的齿圈,液压功率流则通过左、右无级变速器及中心差速器 7 传至左右差速器的太阳轮,并在那里与机械流汇合,形成类似于图 31.4-24 的输入分流系统。控制

左、右无级变速器输出轴转速、转向及它们之间的转速差,即可无级地调节车辆在前进状态下的直线行驶速度和转向半径。当Ⅱ档制动器2及横轴制动器3均松开,Ⅲ档离合器4结合时,构成前进Ⅲ档。此时亦构成与Ⅱ档相似的功率分流式传动。不同之处是机械功率

流直接经横轴制动器3而不是Ⅱ档制动器2传输到左右10的齿圈上。在Ⅱ、Ⅲ档时都各有一个“纯”机械传动直线行驶的工作点,即左右液压泵排量均为零,液压马达分别将左右行星差速器10的太阳轮制动,此时全部行走功率均由机械功率流输出。

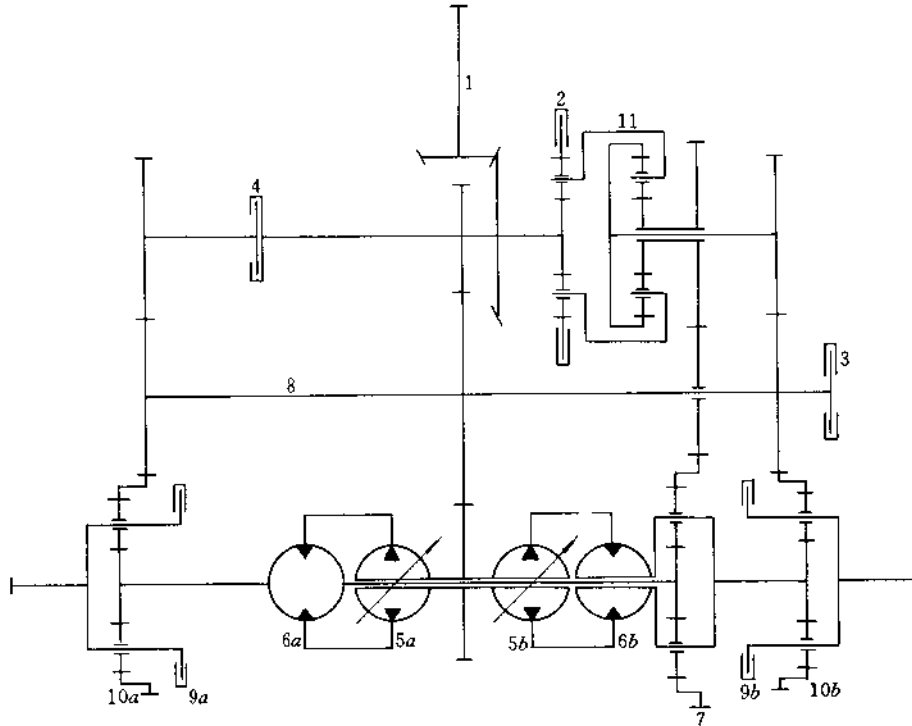


图 31.4-32 HMPT-500 型传动装置的传动简图

1—输入轴; 2—Ⅱ档离合器; 3—横轴制动器; 4—Ⅲ档制动器; 5—变量液压泵(左、右各1); 6—定量液压马达(左、右各1); 7—中心行星差速器; 8—行星制动, 器(左、右各1); 9—横轴; 10—侧行星差速器(左、右各1); 11—Ⅱ档行星差速器

HMPT-500型传动装置可传输功率高达368kW,输入转速为2600r/min,正转输出转速0~3260r/min,“纯”液压传动的Ⅰ档和倒档的效率约75%~78%,功率分流的Ⅱ、Ⅲ档在液压功率流分流系数 $\epsilon_h < 0.25$ 时的总效率高达87%。由于采用了可耐受高达48MPa峰值压力的结构十分紧凑的整体式径向球塞泵和马达液压传动单元(最大排量均为0.344l/r),使整个传动装置的质量仅有740kg。这种装置已大批生产并装在美国M2“布雷斯特”型装甲步兵战车、M3型侦察车及其变型车辆上,显示了优异的性能和可靠性。

民用行走机械主传动采用液压无级变速装置始于

农用拖拉机(1954年英国NIAE研究所)。但由于效率和成本方面的原因,多年来并未能在这一领域推广。但人们在这方面所作的努力却从未间断。随着功率分流技术的发展和液压传动元件水平的提高,近年来相继出现了一些新的成果。

图31.4-33是一种由德国Fendt公司和Sauer-Sundstrand两公司于90年代初合作研制的农用拖拉机用功率分流液压无级变速装置的传动简图。这是一种输出分流的装置。发动机曲轴经弹性联轴节1驱动行星差速器的框架2;变量泵4与齿圈3联接;作为机械功率流输出构件的是太阳轮5,它同时又经过中间轴6与并联的两个变量液压马达7相联接,在输出轴

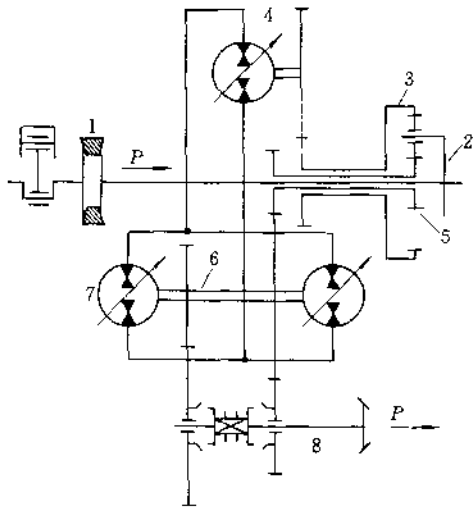


图 31.4-33 Fendt 公司大功率农用拖拉机的功率分流液压无级变速装置传动简图

1—弹性联轴节;2—行星轮框架;3—齿圈;4—变量泵;  
5—太阳轮;6—中间轴;7—变量马达;8—输出轴

8 上还设置了机械切换的高低档装置。

该装置的液压泵和马达联接在一个闭式回路中。拖拉机静止时,马达 7 处于最大排量状态,而变量泵的排量则为零,由于泵无输入转矩,行星差速器处于空转状态,输出转矩接近于零。起步后,变量泵中的排量逐渐增大,一方面提供了一个作用在行星差速器齿圈上的阻力矩使它得以向太阳轮输出转矩;另一方面又通过液压系统使马达 7 输出转矩。这两个分别由机械装置(行星差速器)和液压无级变速装置输出的转矩将在中间轴上叠加并最终通过机械高低档变速器和输出轴 8 传向拖拉机的驱动轮。随着变量泵 4 排量的增大,车速将逐渐增加,变量马达排量的调小将使车速进一步提高。在这一装置中选用的变量马达的最小排量可调至零,同时变量泵 4 排量已调至最大。在这一工作点时,马达起到阻止液压油流动并使变量泵 4 制动的的作用。此时差速器成为一个齿圈 3 固定、框架 2 输入、太阳轮 5 输出的纯机械的行星增速装置。当变量泵 4 的输出油流方向改变时,马达 7 将反转,并使车辆倒驶。与本文前面分析过的情况相类似,倒车时液压流动率将大于发动机功率。机械流传输的是无功功率,因而效率较低。但对于主要作业区是在前进方向的通用农业拖拉机而言,倒档使用的时间和负荷均不大,因而这一缺点并不特别重要,或者可以说是牺牲了倒档的某些效率而换取了前进档的高效无级变速性能。上

述装置已成功地用于功率高达 191kW 的大型农用拖拉机上。根据用户要求,可使该型拖拉机具有 32km/h 或 50km/h 的前进速度,对应的倒档速度分别为 38km/h 和 24km/h。这种变速装置满负荷时的传动效率为 85%,达到了负荷换档式机械变速器的水平。功率分流式液压无级变速装置已被认定是功率为 150~300kW 级的大型农用拖拉机传动装置的发展方向。

#### 31.4.6 带贮能设备的液压无级变速装置

对于那些负荷经常波动,甚至会周期性出现负转矩或多余能量的工作机,采用带贮能设备的传动装置可以减少原动机的功率,降低失配功率损失。当工作机出现能量过剩时,贮能设备可以回收这些能量供再次需要时重新利用。例如,贮能设备能吸收车辆下坡或减速时的多余动能或起重挂钩下降时重物的势能,供车辆再次上坡或加速时以及提升重物时使用。贮能传动装置还可以为机具提供应急启动和运行的能力,以及满足某些特殊条件下的使用要求,例如防爆内燃机的启动,使内燃车辆在“熄火”状态下通过不允许排烟污染的室内等。各种工作机,特别是行走车辆的负荷或多或少都是波动的,因此贮能传动有其普遍意义。

为了贮存车辆的制动、重物下降等频繁出现的多余能量,实际可用的是飞轮和液压蓄能器,后者多应用压缩气体贮能原理工作。

一个好的贮能系统应该能对工作机和原动机的工况变化迅速作出反应并控制能量的合理“收支”,只有能在较宽范围内无级调节的传动装置才能满足这一要求。因此,现代贮能传动装置多为电力传动和液压传动,而后者在功率密度和反应速度方面的优点,特别是它和液压蓄能器的良好匹配性使其在行走机械上获得了更广泛的应用。

##### (1) 飞轮贮能设备

飞轮是一种很古老的贮能设备。当向它输入能量时,飞轮转速升高,能量以动能的形式贮存在飞轮的旋转质量中;当由它释放能量时,其转速下降。由于充、放能量过程中飞轮的转速会有相当大的变化,所以它和工作机之间应当采用无级变速装置相连接。为了得到较好的贮能密度,现代贮能飞轮的转速常高达 10000r/min 以上,它们须经严格的动平衡和强度检验,精确地安装在真空或充氮的壳体内,以减少高速旋转时的风阻损失。

瑞典 Volvo 公司开发了一种采用飞轮贮能的液压无级变速装置,供市内公共汽车使用。其传动原理图见图 31.4-34,其工作原理如下:

柴油发动机 1 的曲轴左侧通过液控离合器 17、分动箱 2、液控离合器 18、传动轴 19 和增速器 3 驱动飞轮 4, 并又通过传动轴 20 与主变量泵 7 相联接。泵 7 向两个由分动箱 5 联接在一起的变量马达 8 和 9 供油, 分动箱的输出轴 21 将动力传给车辆驱动桥 6。柴油机 1 同时还直接驱动冷却风扇驱动系统的泵 12, 并通过分动箱 2 驱动补油泵 11 和控制泵 10。

车辆在准备起步时, 首先由发动机向飞轮充能。此时马达 8、9 调至最小排量, 并通过制动器使传动轴 21 和马达轴制动。离合器 17 结合, 而离合器 18 分离。这时, 补油泵 11 通过阀组 13 向主油路的供油就会迫使主变量泵 7 作为液压马达运行, 它通过传动轴 20 使飞轮 4 逐渐增速。当飞轮转速达到约 5000r/min 时, 离合器 18 结合, 柴油机和飞轮开始并联工作。

正常运行时, 离合器 17 与 18 均结合, 发动机与飞

轮提供的能量经泵 7 和马达 8、9 传输到驱动桥 6 上, 以使车辆加速和克服各种行驶阻力。当车辆减速或下坡时, 由马达 8、9 通过泵 7 逆向传输能量, 这将使发动机和飞轮增速并因之在飞轮中贮存了制动能量, 车辆所减少的动能中的一部分(取决于传动效率)转化成为飞轮的动能增量。

在某些特殊条件下, 该系统也可以利用飞轮短时间地单独驱动车辆。此时离合器 17 分离。在必要时, 也可用飞轮来启动发动机。

该装置的飞轮装在一个铸铁制的真空壳体内, 转子质量为 330kg, 转动惯量  $1\text{kg}\cdot\text{m}^2$ , 飞轮单独运行时的最高转速为 10000r/min, 此时的贮存能量为 8.3J, 足以使公共汽车(重 16t)行驶 1200m 远。在正常工况下与发动机共同工作时, 飞轮转速为 6800~8000r/min。

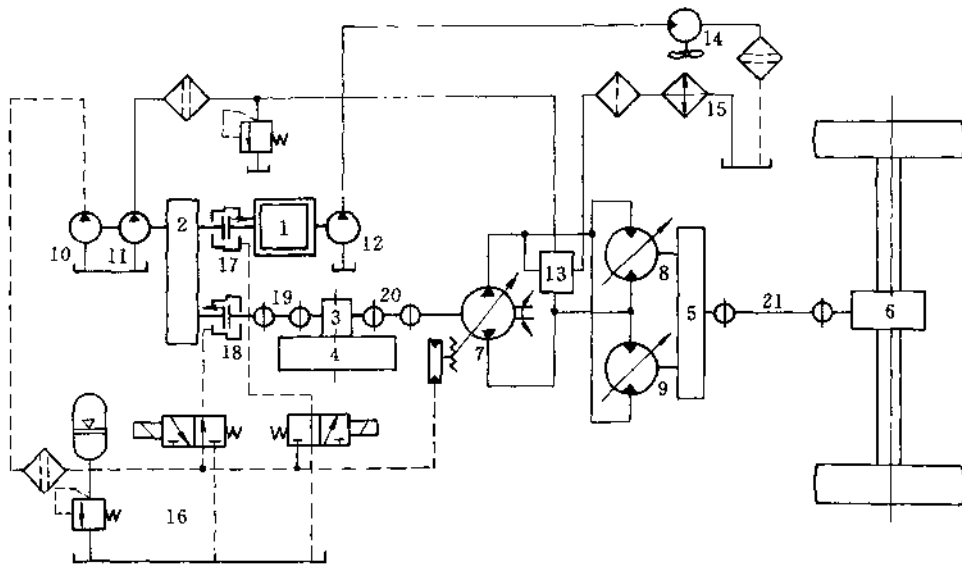


图 31.4-34 瑞典 Volvo 公司飞轮储能液力无级变速装置的传动原理图

1—柴油机; 2—分动箱; 3—增速器; 4—飞轮; 5—输出分动箱; 6—驱动桥; 7—变量泵; 8、9—变量马达; 10—控制泵; 11—补油泵; 12—冷却、滤清泵; 13—阀组; 14—风扇马达; 15—冷却器; 16—控制系统; 17—液控离合器; 18—液控离合器; 19、20、21—传动轴

主油路中的液压泵 7 和马达 8、9 均为缸体摆角可达  $40^\circ$  的球面柱塞式斜轴元件, 三个元件的最大排量均为  $160\text{ml/r}$ 。该液压无级变速装置使车辆产生  $1.6\text{m/s}^2$  的加速度时的最高压力为  $32\text{MPa}$ , 制动时最高压力约  $27\text{MPa}$ , 单向传动效率(由泵到马达或由马达到泵)为  $70\% \sim 80\%$ 。为了按驾驶员的指令和路面

实况协调发动机、飞轮和液压系统的工作, 在车上装有一套以微处理机为核心的电子控制设备, 主要控制参数是系统压力、泵和马达的排量及飞轮转速。

上述飞轮贮能的公共汽车已在斯德哥尔摩等城市投入了运行, 并获得了良好的经济效益。德国和美国也开展了类似的研究工作。在上述 Volvo 公司的系统

中,飞轮与发动机、液压泵之间的传动比是固定的,有时难以达到三者工作转速的最佳匹配,因此,一些新的方案往往倾向于通过差速器和功率分流装置联接这些元件,以便按实时工况合理地分配各部分的功率比例。

### (2) 液压蓄能器储能设备

对于液压无级变速装置来说,采用属于同一技术范畴的液压蓄能器储能可能更为方便。

图 31.4-35 是德国 M. A. N 公司研制的用于市内公共汽车的液压无级变速装置及储能设备示意简图。输入轴 5 经过一个由差速器 8、液压泵 9 和液压马达 10 组成的输出分流式传动装置将动力传输给

出轴 11。泵和马达之间的主油路经过控制阀组 3 与高压蓄能器 2 及低压蓄能器 1 相联。当车辆加速时,由轴 5 输入的发动机功率与蓄能器提供的液压功率汇合到输出轴 11 上,匀速行驶时,蓄能器与主油路可分离。车辆减速或下坡时,车辆的动能通过以泵工况运行的液压马达 10 转化为液压能,重新贮存到蓄能器中,直到它的压力达到额定值为止。一套电子控制设备根据运行工况的要求控制阀组 3 中各元件的启闭和液压泵 9、液压马达 10 的排量变化。在必要时,刹住制动器 7 可以得到纯机械传动的“机械档”,结合离合器 6 则得到“直接档”。

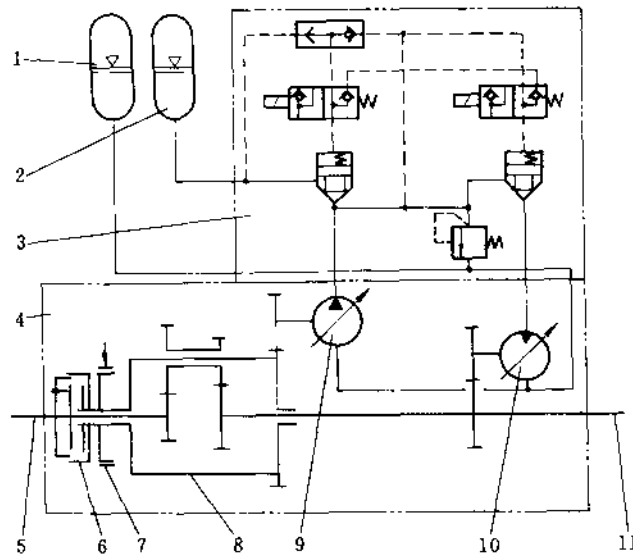


图 31.4-35 带液压蓄能器的功率分流变速装置运动简图

1—低压蓄能器;2—高压蓄能器;3—控制阀组;4—变速器;5—输入轴;6—离合器  
7—制动器;8—差速器;9—变量泵;10—变量马达;11—输出轴

对于行走机械的传动装置来说,飞轮和蓄能器这两种储能装置各有优缺点,在现有技术条件下,飞轮装置的单位重量储能密度尚高于批量生产的标准型液压蓄能器,因此比较紧凑。但是当用飞轮与液压传动配合使用时,要经过由机械能(车辆动能、重物的势能等)到液压能再到机械能(飞轮动能)的两次转化才能把回收的能量贮存到飞轮中;在需要重新利用这些能量时,又须经过两次转化。这必然增加了损失,使储能系统

的再生效率(可资利用的能量与输入能量之比)下降。蓄能器装置则无须第二次能量转化,在布置方面亦有优点,因而它更适合于与液压传动配合使用。

### 31.4.7 用户端调节式液压无级变速装置<sup>①</sup>

传统液压式油路无级变速装置的主调节元件是变量泵,马达排量仅作为辅助调节参量。一般选用定量的有级变量的马达,即便是选用压力反馈无级变量马达,马达排量也只在有限范围内随负荷变化。此负荷

<sup>①</sup> 一些文献称其为“二次调节系统”,但这一术语容易与常用的变量马达二次调节方式(31.4.3节)相混淆,故采用“用户端调节系统”更为恰当。

变化的主要反应是系统压力的波动,因为以马达进口压力的变化来匹配负荷的,这种系统可称之为“压力耦合”系统。在这种系统中,并联两个以上马达时,压力仅反映负荷最小的马达的需要,而负荷较高的马达则可能无法输出足够的转矩,因此并联的各马达无法独立操作,需要独立操作的执行元件(马达或液压缸)则不得不并列设置几套完整的变速装置,对于具有多个“用户”的设备来说,很不方便。对于带贮能设备的液压无级变速装置来说,油路中压力大幅度的波动以及压力方向的变化,给液压蓄能器的设置造成很大困难。因为蓄能器只能在一个压力方向上运行,从效率和寿命考虑,它的工作压力比(贮能终点的压力与放能终点压力之比)一般不超过3~4。

鉴于传统的“压力耦合”方式的缺点,人们开发了能够快速双向变量的液压马达,用调节马达排量的方式适应负荷大小和方向的变化,而系统的压力基本保持不变。在这样真正的恒压系统中(不是为防止超负荷而设置的压力界限所形成的恒压),可以并联若干变量马达,各以自己的排量变化来适应自身负荷的要求,彼此互不干扰。这种工作情况,与现代电力传动系统中各个用户联接在电压恒定的电网上,根据负荷的大小自行调节电流的大小的方式相似。在这种系统中,马达通过所需流量的调节来满足负荷的功率匹配的要求。负荷小,转速低时,流量小;负荷大,转速高时,流量大。所以,这种传动系统是以“流量耦合”的原理工

作的。系统输出端的转矩和转速是由用户端(液压马达)自己匹配的,所以称为“用户端调节”装置。

在用户端调节的变速装置中,由于马达入口压力不再变化,负荷大小不再能从压力变化中识别;要想适时地改变马达排量,就必须设置专门的测速系统来获取负荷变化的信号。图31.4-36是多用户的用户端调节式液压无级变速装置原理图,它的公用压力网络由一个或几个并联的液压泵供油,泵的变量系统仅用以维持系统的恒定压力。马达的速度和所需流量由自身的变量机构来调节。以用户1为例,变量马达带有一个同步旋转的测速泵,它的输出流量 $q_h$ 正比于马达转速。 $P_h$ 流过并联于马达变量缸上的节流阀时产生压差 $\Delta p_h$ ,节流阀开度不变时, $\Delta p_h$ 仅是马达转速的函数。当马达的输出转矩与负载转矩平衡时, $\Delta p_h$ 可使马达的差动变量液压缸保持在一定位置,马达具有相应的排量。负荷增加时,首先出现转速的减小, $\Delta p_h$ 随之变化,迫使差动液压缸向排量增加的方向变化;负荷减小时,其过程相反;最后都达到排量和负荷的匹配,保持转速的稳定。改变节流阀的开度可以变换马达的调定转速,与传统的马达变量方法相反,为了增大(减少)马达的转速,应该调大(小)马达的排量。节流阀完全关闭时,转速为零。当然,实用装置的检测系统均加有伺服变量装置,测速系统也多采用电子传感器以提高调节精度。

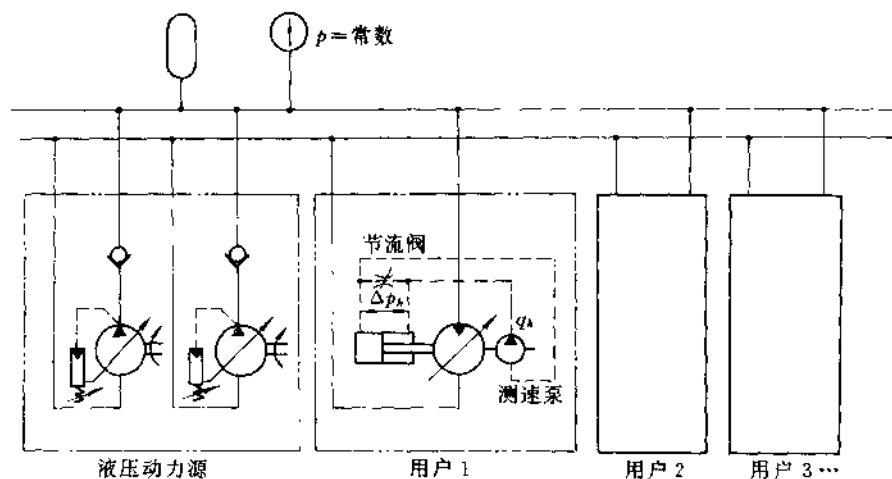


图 31.4-36 多用户的“用户端调节式”液压无级变速装置基本原理图

图 31.4-37 是一个实用装置的简化油路系统图。它采用双向测速泵 7 识别马达的转速和转向, 由流量控制阀 8 与 9 分别调定两个转向的转速。通过控制压差由伺服阀 5 和弹簧复中液压缸 4 调节马达 6 的排量大小和方向。减压阀 2、3 和单向阀 11、12 构成双向工作测速泵 7 所需的分压及补油回路。通过改变马达 6 变量部件的位置, 马达可以在如图 31.4-3 所示的四个象限中运行, 而没有低速的死区, 不但可有正反两个方向的转速, 而且在出现负的负荷转矩时, 能够使马达 6 转为泵的工况并向恒压网络反馈液压能, 此能量由联接于本系统的液压蓄能器贮存或为同时运行的其他马达所利用。在这种情况下, 部分用户有可能在短时

间内输出数倍于油源容量的功率。

用户端调节式变速装置特别适用于有贮能要求和多用户系统。联接在恒压网络上的液压蓄能器工作条件好、寿命长、效率高。公共油源中的液压泵在恒压下运行, 不受压力波动的影响; 系统中并联有液压蓄能器时, 有可能采用定量泵和功率较小的泵。由于上述多方面独特功能, 自从 1977 年德国的 H·Nikolaus 申请这项技术的第一个专利以来, 有关的理论和实践都有了迅速的发展。在双向变量马达的开发、电子测速系统的研制, 调节系统的稳定和可靠性的研究等方面, 都有不少进展。可以预料, 这一新的技术将会获得广泛的应用。

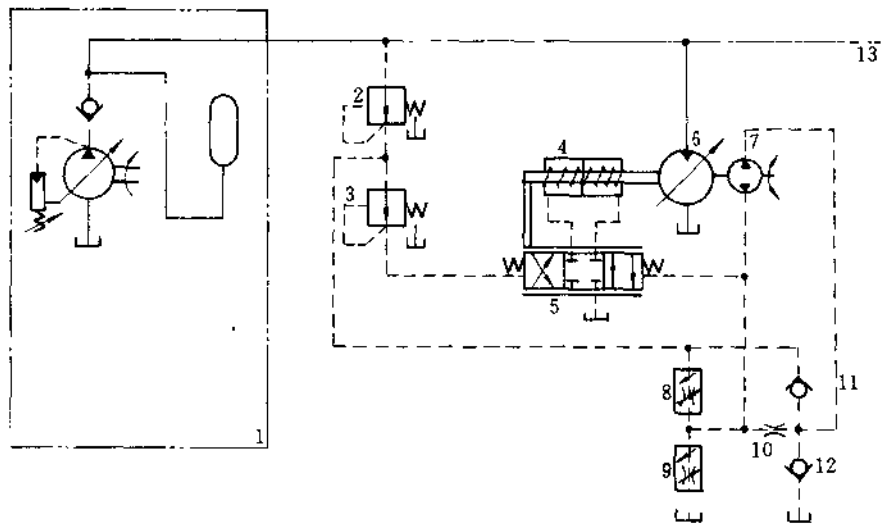


图 31.4-37 双向调速的用户端调节式变速装置系统图

1—液压油泵; 2、3—减压阀; 4—弹簧复中液压缸; 5—液压伺服阀; 6—变量马达; 7—双向测速泵; 8、9—流量控制阀; 10—节流阀; 11、12—补油单向阀; 13—恒压网络