

第16章 液 压 传 动

刘 德 钡

第 1 节 概 述

(一) 液压传动及其应用

液压传动是以液体作为工作介质,用液体的压力能来传递动力、运动或动作讯号的,它是基于流体力学的帕斯卡原理工作的。

目前液压传动在各个工业部门得到了越来越广泛的应用。它与机械、电气传动相比较,具有如下的优缺点:

优点:

- 1) 易于获得较大的力或力矩,并易于控制;
- 2) 易于实现直线往复运动、旋转运动和摆动运动;
- 3) 易于实现宽范围的无级调速;
- 4) 能容量(输出能量与其重量的比值)大;
- 5) 传动平稳、均匀,且油液本身有吸振能力,故易于实现频繁的换向;
- 6) 与机械和电气配合,易于实现各种复杂的动作;
- 7) 操纵力小;
- 8) 易于实现过载保护;
- 9) 能自动润滑,因而元件的使用寿命较长;
- 10) 液压元件及液压回路易于实现标准化和系列化。

缺点:

- 1) 由于泄漏的不可避免以及油本身有一定的可压缩性,故不能实现准确的定比传动;
- 2) 由于液体流动和机件运动时的摩擦损失以及泄漏的存在,因而传动效率较低;
- 3) 油的粘度随温度的变化而变化,从而易引起系统工作的不稳定,故液压系统不宜在高温或低

温下工作;

4) 零件制造的质量(尺寸精度、表面粗糙度及几何精度)要求较高;

5) 液压系统的故障不易检查和排除。

(二) 液压传动的特点

液体传动按其工作原理可分液压传动及液力传动两类。液压传动是靠液体的压力能工作的,而液力传动是靠液体的动能(高速流动的液体的动能)工作的。后者如水轮机、汽车及其他内燃机中的液力耦合器和液力变扭器等,但这不属于本章的讨论范围。

图 16-1-1 是液压传动原理示意图。

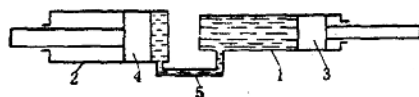


图16-1-1 液压传动原理示意图
1、2—油缸 3、4—活塞 5—油管

图中油缸工作腔和油管中充满液体并与大气隔绝,活塞与缸体之间的良好配合可保证活塞运动既轻快又不会产生泄漏。当活塞3受外力作用向左运动时,油缸1左腔中的液体就要经油管5被挤到油缸2的右腔,推动活塞4向左运动。由此可见,活塞3的运动是靠与外界隔绝的液体传递给活塞4的。

综上所述,液压传动有以下特点:

- 1) 以液体为工作介质;
- 2) 由于液体只有一定的体积而无固定的形状,故此种传动必须在密闭的容器(油缸、油管等)内进行;
- 3) 液体只能受压而不能受其它的力,所以液压传动是靠受静压力的液体完成的。

(三) 液压传动系统的组成

液压传动系统由五部分组成 (图 16-1-2);

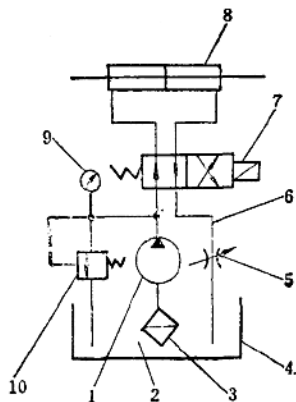


图16-1-2 液压传动系统的组成

- 1—油泵 2—油 3—滤油器 4—油箱
5—节流阀 6—管路 7—电磁换向阀
8—油缸 9—压力表 10—溢流阀

(1) 能源部分 主要指油泵，它是将机械能(或电能)转变为液体压力能的装置；

(2) 工作部分或称执行机构 指直线运动的油缸或回转运动的液压马达，它是将液体的压力能再还原成机械能的装置；

(3) 控制和调节部分 主要指压力阀、方向阀及流量阀。通过它们控制液体的压力、流向及流量，使执行机构能够完成所要求的运动；

(4) 辅助装置 除上述各部分及油以外的其它元件均称为辅助装置，包括油箱、滤油器、油管、蓄能器、管接头、油冷却器、油加热器及指示仪表等。

(5) 介质 一般指油。

(四) 液压传动系统的分类

按介质在系统中的循环特性，可将液压传动系统分为开式传动系统和闭式传动系统两种。

(1) 开式传动系统 在开式传动系统中(图 16-1-3 a)，从油泵输送到控制调节装置及执行机构的油在工作完毕后首先排回油箱，然后再被油泵吸入重新工作。在此种系统中油箱是敞开的。

开式传动系统的优点是结构比较简单，油液可在油箱中充分地得到冷却和沉淀杂质，因而应用广泛。其缺点是油箱所占的空间较大。油液与空气直

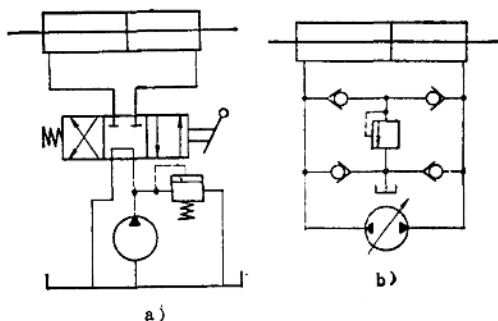


图16-1-3 开式及闭式传动原理图

a) 开式传动系统 b) 闭式传动系统

接接触，使空气容易进入到油液中而导致系统不能正常工作。此外，油泵靠吸油腔中形成的真空度在大气的压力下吸油，因而当采用自吸能力差的油泵(大流量或高压柱塞泵等)时，就需要增设辅助油泵为主泵供油。

(2) 闭式传动系统 在闭式传动系统中(图 16-1-3 b)，从油泵输送到控制调节装置及执行机构的油在工作完毕后直接流入油泵的吸油口而不再排回油箱，从而形成一个封闭的系统。

闭式传动系统的优点是辅助的补油箱的体积小，系统内不易进入空气，也容易保持油液的清洁。此外还可以用油泵直接换向的办法来完成执行机构的换向，从而可以在主油路系统中省掉复杂的换向装置。其缺点是结构比较复杂，散热性差，而且大多需要辅助油泵补油。

第2节 基础理论

(一) 液体的物理特性

液体的物理特性见表 16-2-1。

(二) 压力和力

1. 压力

在液压传动中液体的压力(通常用 P 表示)是指液体在单位面积上所受的力，也即物理学中的压强。其法定计量单位是帕斯卡(简称帕)，符号为 Pa 。此外还有千帕(kPa)及兆帕(MPa)等。一般可按 $1 \text{ kgf/cm}^2 \approx 0.1 \text{ MPa}$ 折算。

2. 力

液压系统中的力是指液体的压力与其所作用的有效面积之积，即，

表16-2-1 液体的物理特性

物理特性名称	定义或单位名称的物理意义	公 式	SI 单位	换 算 关 系	液压油 (矿物油) 的数值
密度 ρ	单位体积中液体的质量	$\rho = \frac{m}{V}$ m—液体质量, V—容积或体积	kg/m ³	$1 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 = 9.81 \text{ kg}/\text{m}^3$ $1 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{cm}^4 = 981 \text{ kg}/\text{cm}^3$	$870 \sim 930 \text{ kg}/\text{m}^3$ $= (870 \sim 930) 10^{-6} \text{ kg}/\text{cm}^3$
重度 γ	单位体积中液体的重量	$\gamma = \frac{G}{V}$ G—液体重量, $G = mg$ $\gamma = \rho g$ ρ —重力加速度	N/m ³	$1 \text{ kgf}/\text{m}^3 = 9.81 \text{ N}/\text{m}^3$ $1 \text{ kgf}/\text{cm}^3 = 9.81 \text{ N}/\text{cm}^3$	$8.8 \times 10^3 \text{ N}/\text{m}^3$ $= 8.8 \times 10^{-3} \text{ N}/\text{cm}^3$
相对密度 d	物体的密度 (重度) 与 4℃ 时的密度 (重度) 的比值	$d = \frac{\rho}{\rho_4} = \frac{\gamma}{\gamma_4}$			0.9
粘度	运动液体内部分子间产生内摩擦阻力以阻止液层间相对滑动的性质称为粘性。粘性的大小用粘度表示	动力粘度 (或称为绝对粘度) η	面积为 1 m ² , 距离为 1 m 的两层液体, 当其一液体相对于另一层液体以 1 m/s 速度运动时的阻力	$\eta = \tau \frac{dY}{dV}$ τ —假相邻油膜产生速度梯度 $\frac{dY}{dV}$ 变化所需的剪应力, dY—相邻油膜层的间隔距离, dV—相邻油膜间的相对滑动速度	$1 \text{ P} = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ $1 \text{ cP} = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ $1 \text{ kgf} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = 9.81 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
		运动粘度 ν	在相同温度下动力粘度与密度的比值	$\nu = \frac{\eta}{\rho}$ ρ —密度	$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ $1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$
		相对粘度 (或称为恩氏粘度及条件粘度) $^\circ E$	试油在某个标准温度 t (常用 20℃、50℃、100℃), 自重作用下, 从恩氏粘度计流出 200 cm ³ 所需时间与蒸馏水在 20℃ 流出相同体积所需时间的比值	$^\circ E_t = \frac{t_1}{t_2}$ t_1 —在给定标准温度 t 下, 从恩氏粘度计流出 200 cm ³ 试油所需的时间 (s), t_2 —在 20℃, 从恩氏粘度计流出 200 cm ³ 蒸馏水所需的时间 (s), t_2 平均值一般是 51 s	

(续)

物理特性名称	定义或单位名称的物理意义	公 式	SI 单位	换 算 系	液压油 (矿物油) 的数值
体 积 (弹性) 膨胀系数 K	体积压缩系数 k 的倒数	$K = \frac{1}{k}$	Pa		$1.4 \times 10^8 \sim 2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ $= 1.4 \times 10^3 \sim 2 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
压缩系数 k ①	在温度不变的情况下, 增加单位压力时所发生的体积减少的相对变化量	$k = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp}$ dV —体积为 V 的液体在受压力变化 dp 后减少的体积; V —液体在压力变化前的体积, dp —压力增量	Pa^{-1} m^2/N		$1.43 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{N}$
体 (膨胀) 系数 α_V	在压力不变情况下, 增加单位温度时所发生的体积增加的相对变化量	$\frac{dV}{V} = \frac{1}{\alpha_V} \frac{dT}{dT}$ α_V —温度增量	K^{-1} C^{-1}		$(8 \sim 10) \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$
比热容 C	1 克质量的液体, 温度升高 1°C 时所吸收的热量叫比热容 m 克质量的液体, 温度升高 1°C 时所吸收的热量叫热容量	$C = \frac{dQ}{m dT}$ dQ —液体温度升高 dT 所增加的热量; dT —升高的温度	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	国际蒸汽表卡 $1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$ $= 4186.8 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 热化学卡 $1 \text{ calth}/(\text{g} \cdot \text{K})$ $= 4184 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	
导热系数 λ	单位时间内, 单位长度温度降低 1°C 时单位面积通过的热量	$\lambda = \frac{Q_A l}{A T (t_1 - t_2)}$ l —两层液体间距离, A —两层液体之面积, T —传热时间, $t_1 - t_2$ —两层液体之温差	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	国际蒸汽表卡 $1 \text{ cal}/(\text{s} \cdot \text{cm} \cdot \text{K})$ $= 418.68 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 热化学卡 $1 \text{ calth}/(\text{s} \cdot \text{cm} \cdot \text{K})$ $= 418.4 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	

① 在中低压液压传动中或液体容积较小时, 液体的压缩性可忽略不计。研究液体振动、冲击、压力变化很大的高压液压系统, 精度要求很高的液压随动系统和其他过渡过程时, 则必须考虑压缩性。

$$F = 100 p A$$

式中 F —— 液体所能产生的推力 (N);

p —— 液体的压力 (MPa);

A —— 有效作用面积 (cm^2)。

当承压面为曲面时, 则取曲面在承压方向的投影面积。

(三) 流体静力学

1. 流体静压力

流体静压力是指流体处于静止状态下的压力。

流体静压力的特点是:

(1) 在静止的液体中, 任何一点所受到的各个方向的静压力均相等。

(2) 液体静压力均垂直作用于承压面。

在一个盛有液体的敞开的容器中, 液面上所承受的压力为大气压力 p_0 , 它是由空气的重力产生的。

在液面下任意一点 a 除承受 p_0 外, 还要承受液体重力产生的压力, 其值为: γh (Pa)。式中, γ 为液体的重度 (N/m^3), 它等于 ρg (ρ 为液体的密度 (kg/m^3), $g = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$; h 为 a 点距液面的深度 (m)。

因此, a 点承受的总压力 p_a 为:

$$p_a = p_0 + \gamma h (\text{Pa})$$

此处 p_a 又称液体的绝对压力。若将上式移项后可得 $\gamma h = p_a - p_0$, γh 又称“表压力”(用 $p_{\text{表}}$ 表示)或“计示压力”(用 $p_{\text{计}}$ 表示)。

2. 由外力引起的压力

在图 16-2-1 中, 当密封油缸中活塞 1 受到外力 F (N) 的作用时, 缸体 2 中的液体即会产生压力 p , 其值为:

$$p = F / A (\text{Pa})$$

式中 A —— 活塞的面积 (m^2)。

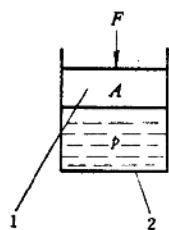


图16-2-1 液体受外力时产生的压力

图 16-2-2 表示液体静压力的传递。当活塞 3 上受外力 F_1 作用时, 在油缸 1 中产生压力 $p = F_1 / A_1$, 该压力经管 5 立即传递到油缸 2, 使活塞 4 可向外输出力 $F_2 = p A_2$ 。当 F_2 力能够克服外界的阻力时, 活塞 4 即向左运动, 此时活塞 3 也向左运动, 但缸 1 和缸 2 中的压力始终相等。这种静压力传递的原理称为“帕斯卡定理”。帕

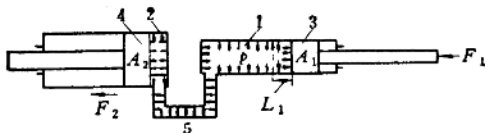


图16-2-2 液体静压力的传递

斯卡定理说明: 在密闭容器内处于平衡状态的液体中, 任何一点的压力如有变化, 则该点压力的变化将等值地传递给液体中的所有各点。帕斯卡定理是液压传动的基础。

由帕斯卡定理可知:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

若活塞 4 无外载, 活塞与缸的摩擦力等于零, 且管 5 也没有阻力, 则当活塞 3 受 F_1 力时, 活塞 4 会立即向左运动, 而且两缸内也不会产生压力。可见产生压力的必要条件是必须有外载, 这也就是压力取决于外载的概念。

(四) 流体动力学

1. 流量定律

液体在单位时间内通过管道某一截面的体积称为流量。即:

$$Q = 6 A v$$

式中, Q 为流量 (L/min); A 为管道截面面积 (cm^2); v 为液体流动的平均速度 (m/s)。

当液体流过不同截面或不同形状的管道时, 如管道无泄漏, 由于液体基本上不可压缩, 又不可能产生空腔, 因此流经各截面的流量均相等, 这就是流量定律或称液流连续性原理。由此导出的液流连续方程:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

式中, A_1 、 A_2 分别为管道 1、2 处的截面面积; v_1 、 v_2 分别为液体在管道 1、2 处的流速。

2. 能量定律

液体在管道中流动时, 其流速、压力和高度均可能发生变化。若在管道中无能量的增减, 则所有的能量总和在管道中任意一个位置上均为一常数, 这就是伯努利的能量守恒定律。对于理想的液体 (流动时没有摩擦力, 又不可压缩, 因而没有能量损失) 的伯努利方程是:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2$$

式中 p_1, p_2 ——液体在管道 1、2 处的压力；
 v_1, v_2 ——液体在管道 1、2 处的流速；
 h_1, h_2 ——液体在管道 1、2 处距基准面的高度；
 γ ——液体的重度；
 g ——重力加速度。

式中 $\frac{p}{\gamma}$ 为液体的比压能， $\frac{v^2}{2g}$ 为液体的比动能， h 为液体的比势能。因为这三项均具有长度单位，故一般分别称它们为压力头、速度头和位置头。

由于实际液体在流动时是有摩擦的，也是可以压缩的，因此必定有能量损失。如果这种损失以 h_w 表示，则实际液体的伯努利方程应为：

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + h_w$$

3. 流体的运动状态

液体流动时基本上存在两种状态，即层流和紊流。层流是指液体的流动呈互不混杂的线状或层状，液体中各分子是沿平行于管道轴线的方向运动的。紊流是指液体作混杂紊乱状态的流动，因此液体中的分子除沿平行于管道轴线的方向运动外，还具有其它方向的运动。

液流的状态可用雷诺数 Re 来判断， Re 的计算式如下：

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

式中 v ——液体在管道中的平均流速 (mm/s)；
 d ——管道的内径 (mm)；
 ν ——液体的运动粘度 (mm²/s)。

由计算式可知，雷诺数是无量纲的。
对于圆形截面的管道， Re 可用下式计算：

$$Re = \frac{21230 Q}{d \nu}$$

对于非圆形截面的管道， Re 可用下式计算：

$$Re = \frac{4vr}{\nu}$$

式中 Q ——通过管道的流量 (L/min)
 r ——液流截面的水力半径，它等于截面的有效面积 A 与湿周长度 (有效截面的周界长度) x 之比，即

$$r = \frac{A}{x} \text{ (mm)}$$

其余代号同前。

判断液压油在直的圆形管道中液流状态的标准是：

对于光滑的金属管， $Re < 2000 \sim 2300$ 时是层流， $Re > 2000 \sim 2300$ 时是紊流；

对于橡胶软管， $Re < 1600 \sim 2000$ 时是层流， $Re > 1600 \sim 2000$ 时是紊流。

液压系统中的液流不希望出现紊流状态，因为在紊流状态下会造成较大的压力损失。

4. 液体流动时的压力损失

液体流动时的压力损失可分两种，一种是液体在沿直径不变的直管中流动时因摩擦而产生的损失，另一种是因管道截面的突变、液流方向的改变或其它形式的液流阻力而产生的损失。前者称为沿程压力损失，后者称为局部压力损失。

各种状态下压力损失的计算方法均可在一般的液压书中找到，故此处不多赘述。

由有关的计算公式中可知，沿程压力损失随着流速的提高、管道长度的增加以及油的粘度的增大而加大，并且在层流状态时，该损失与流速成正比；在紊流状态时，该损失与流速的平方成正比。

局部压力损失随着管道截面突变程度和突变数目的增加以及流速的提高而加大，并且该损失与流速的平方成正比。

由此可见，合理地选择液压系统各个环节的流速对减小压力损失是十分重要的。表 16-2-2 给出了液压系统各部位的推荐流速。

表16-2-2 液压系统各部位的推荐流速

油液流经的部位		流速 (m/s)
油泵的吸油管路	1/2"~1"管	0.6~1.2
	>1 1/4"管	≤1.5
压油管路	1/2"~2"管	≤3.0
	>2"管	≤4.0
流经控制阀等短距离的缩小截面管道		≤6.0
溢流阀		≤15
安全阀		≤30

5. 液压冲击

在液压系统中，由于某种原因使系统内液体的压力产生瞬间剧烈的变化并出现瞬时高压的现象称为液压冲击。

使液压系统产生液压冲击的原因主要是液流速度的突然改变 (如执行机构的突然停止或突然降速) 和液流方向的突然改变 (如执行机构突然换

向)。这实际上是由于油液的惯性力和高速运动部件惯性力作用的结果。

液压冲击时出现的最大压力称为冲击压力,它比正常工作压力往往要大好多倍,而且这种冲击压力会迅速地传播到液压系统的各个部位,因此破坏性很大。冲击压力往往能使油管破裂,联接螺钉松动和液压系统振动等,因此必须采取措施来减小或防止液压冲击。

减小和防止液压冲击的最有效方法是避免液流的急剧变化。因此延长液流速度和方向变化的时间是主要的措施。经常采用的方法是:

- (1) 减慢换向阀阀杆切换油路的速度;
- (2) 限制管道中液流的流速;
- (3) 采用适当的缓冲装置来延长执行机构的换向时间;
- (4) 在容易产生液压冲击的地方安置溢流阀来限制压力的升高;
- (5) 在系统中设置蓄能器和使用橡胶软管来吸收冲击压力。

第3节 液 压 油

(一) 对液压油的要求

在采用液压传动的机械设备中,除大型的锻压设备使用水基乳化液外,其余均采用矿物油做为传动介质。对液压油的要求是:

- (1) 具有适当的粘度和良好的粘温性

当油的粘度大时,摩擦阻力大,功率损失增加,因而温升也高;当油的粘度小时,泄漏增加,泵的容积效率下降,润滑性能也降低。因此必须根据液压设备的结构特点及使用环境合理地选择液压油的粘度。

另一方面,一般液压油的粘度随温度的升高而降低,这种性质称为油的粘温性,很明显,液压油的粘温性应该比较好,也即其粘度随温度的变化要

小。

- (2) 具有良好的润滑性能和较高的油膜强度
因为液压油除对液压元件中的零件有润滑作用外,往往也兼做其它机构的润滑油使用,所以其润滑性能的优劣及油膜强度的高低,不仅与液压元件的磨损有关,而且也与设备中其它零件的磨损有关。

- (3) 不得含有水蒸汽、空气和其它易氧化和产生气体的杂质。

- (4) 油中不得含有水溶性酸和碱,不得对机件及密封件有腐蚀作用。

- (5) 具有良好的化学稳定性,在长期的贮存和使用中不变质。

- (6) 具有较低的凝固点和较高的闪点,以保证在低温下,系统能正常工作,在高温下不至起火。

(二) 液压油的分组、代号和命名

1. 液压油的分组

按 GB2512-81 的规定,液压油(液)根据其主要的使用特性和化学组成为若干组,详见表 16-3-1。

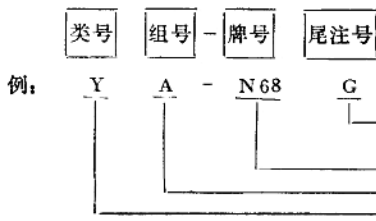
表16-3-1 液压油(液)的组别名称和
组别符号 (GB2512-81)

类 别	代 号	组 别	符 号
液 压 油	Y	普通	A
		抗磨	B
		低温	C
		高粘度指数	D
		专用	—
液 压 液		水包油	RA
		油包水	RB
		水-乙二醇	RC
		磷酸酯	RD
		其它	—

专用液压油组又根据其使用对象分为航空、舰用、减振和汽车制动等级别。

2. 液压油的代号和命名

液压油的代号按以下排列顺序表示:



液压油的命名按以下排列顺序表示:

N68 号普通液压油

牌号	尾注号	组别名称或级别名称	类别名称
----	-----	-----------	------

我国液压油类产品的分组、命名和代号举例见

表 16-3-2。

所以, 上例液压油的命名为:

液压油产品代号的尾注说明见表 16-3-3。

表16-3-2 我国液压油类产品的分组、命名和代号举例 (GB2512—81)

分 组			级 别	命 名	代 号	本标准采用的 新 牌 号 (按40℃粘度分)	相近的原牌号 (按50℃粘度分)
组成和特性	类号	组号					
精制矿油				属本组产品可直接采用机械油代用			20 30
有良好抗氧和防锈性能的精制矿油				属本组产品可直接采用汽轮机油 (目前仅加抗氧剂) 代用			20 30
有良好抗氧、防锈和一般抗磨性能的精制矿油	Y A	普通		N32号普通液压油	YA-N32	N32	20
				N46号普通液压油	YA-N46	N46	30
				N68号普通液压油	YA-N68	N68	40
				N32G号普通液压油	YA-N32G	N32	20
				N68G号普通液压油	YA-N68G	N68	40
有良好抗氧、防锈和抗磨性能的精制矿油	Y B	抗磨		N32号抗磨液压油	YB-N32	N32	20
				N46号抗磨液压油	YB-N46	N46	30
				N68号抗磨液压油	YB-N68	N68	40
				N100号抗磨液压油	YB-N100	N100	60
				N150号抗磨液压油	YB-N150	N150	80
有良好抗氧、防锈、抗磨、低温性能和良好粘温性能的精制矿油	Y C	低 温		N46K号抗磨液压油	YB-N46K	N46	30
				N15号低温液压油	YC-N15	N15	10
				N32号低温液压油	YC-N32	N32	20
				N46号低温液压油	YC-N46	N46	30
				N68号低温液压油	YC-N68	N68	40
粘温性能比YC油更好的油	Y D	高粘度指数		N46D号低温液压油	YC-N46D	N46	30
				N32H号高粘度指数 液压油	YD-N32H	N32	20
高粘度指数、低凝点油和其他油		专 用	舵机	舵机液压油			
			航空	N15号航空液压油		N15	10
			减振	减振液压油			
			炮用	合成锭子油 炮用液压油			
			舰用	舰用液压油			
			汽车制动	N10号汽车制动(液 压)油		N10	7
				N15号汽车制动(液 压)油		N15	9
				101号汽车制 动(液 压)液			
				103号汽车制 动(液 压)液			
				201号汽车制 动(液 压)液			
				202号汽车制 动(液 压)液			
				301号汽车制 动(液 压)液			

(续)

分 组			级 别	命 名	代 号	本标准采用的 新 牌 号 (按40℃粘度分)	相近的原牌号 (按50℃粘度分)
组成和特性	类号	组号					
水包油乳化液	Y	RA	水包油	5号水包油液压液 10号水包油液压液 15号水包油液压液 20号水包油液压液	YRA-5 YRA-10 YRA-15 YRA-20		
油包水乳化液	Y	RB	油包水	油包水液压液	YRB		
水-乙二醇溶液	Y	RC	水-乙二醇	水-乙二醇液压液	YRC		
磷酸酯及其矿物油混合物	Y	RD	磷酸酯	3号磷酸酯液压液	YRD-3		
				4号磷酸酯液压液	YRD-4		
				101号磷酸酯液压液 102号磷酸酯液压液	YRD-101 YRD-102		
其他液压液							

表16-3-3 液压油产品代号的尾注号说明

尾注号	含 义
H	表示由石油烃叠合或缩合等工艺制得的产品
G	表示具有良好的粘-滑特性,减少导轨的爬行现象
D	表示具有良好的低温起动性能
K	表示对镀银部件具有良好的抗腐蚀性能

(三) 液压油的选择

因为油泵是液压系统中的主要元件,所以在选择液压油时,除设备本身的精度和性能等要求外,

主要的依据就是油泵。

1. 液压油品种的选择

航空液压油、精密机床液压油、精密机床液压-导轨油、锭子油及稠化液压油等都是专用的液压油,其使用性能良好。但在一般的液压传动中也常使用机械油、汽轮机油和柴油机油,有时还使用变压器油及N15(旧标准10号,下同)气缸油作为液压油。其中应用较广的有N15(10号)、N32(20号)及N46(30号)机械油,N10(8号)柴油机油及N32(22号)、N46(30号)汽轮机油。

常用国产油的主要性能指标列于表16-3-4。

表16-3-4 常用国产油的主要性能指标

项 目	牌 号			精密机床液压油 及液压-导轨油			机 械 油			主轴油	变压器油	航空液压油	汽轮机油 (透平油)	高 速 机械油
	N32	N46	N68	N32	N46	N68	N15	N46	N15	N32	N46	N10		
运动粘度 $\nu_{40}(\text{mm}^2/\text{s})$	28.5~ 35.2	41.4~ 50.6	61.2~ 74.8	28.5~ 35.2	41.4~ 50.6	61.2~ 74.8	13.5~ 16.5	41.4~ 50.6	13.5~ 16.5	28.5~ 35.2	41.4~ 50.6	9~11		
粘度指数(不小于)	90	90	90				90							
闪点(开口)(不低于 $^{\circ}\text{C}$)	170	170	170	170	180	190	130	135	92	180	180	125		
凝点(不高于 $^{\circ}\text{C}$)	-10	-10	-10	-15	-10	-10	-15	-25	-70	-15	-10	-10		
酸值(mgKOH/g, 不大于)				0.16	0.2	0.35		0.05	0.05	0.02	0.02			
氧化安定性(h, 不小于)	600	600	600											
(酸值达到2.0mgKOH/g的时间)														
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无			
水分	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无	无			
机械杂质(% , 不大于)	无	无	无	0.005	0.007	0.007	无	无	无	无	无			
腐蚀(T ₃ 铜片, 100 $^{\circ}\text{C}$, 3 h)	合格	合格	合格				合格							
防锈性(蒸馏水法)	合格	合格	合格				合格							
临界载荷(N, 不小于)	600	600	600				450							

机械油是工业用中质润滑油，它广泛地用于纺织工业的纱锭、各种机床及其它各种机械的润滑。在液压传动中应用也较普遍，但其抗氧化的安定性差，故只能用于性能要求不高的场合。

汽轮机油（又名透平油）因加入抗氧化添加剂，故在高温下有很高的抗空气氧化性。当混入水分时能迅速分离，即有很高的抗乳化性。此外其酸值很低，故适用于性能要求较高的场合。

柴油机油中加有抗氧化、抗腐蚀和使发动机清洁的添加剂，其润滑性能良好，粘温性也好，一般用于拖拉机、工程机械及起重运输机械的液压系统中。

变压器油也经过了精制，其粘度较低，性能稳定，可用于性能要求较高的系统。

气缸油是一种重质工业用润滑油，它适用于低速、重载及环境温度较高的场合。

航空液压油是经过特殊加工的油，其粘温性好，在-50℃~70℃范围内具有适当的粘度。它通常染成红色，俗称红油，广泛地用于航空液压传动中，但其价格较高。

精密机床液压油是一种高度精制的液压油，具有优良的抗氧化、防泡沫、防锈蚀性能。其粘温性很好，最适于精密机床的液压系统使用，但不能用于低温的系统。

精密机床液压-导轨油与精密机床液压油的性能相似，但它具有优良的防爬性能，因此最适于液压油兼做导轨润滑油使用的系统应用，但也不能用于低温的系统。

稠化液压油的凝固点低，抗氧化的安定性好。因加入稠化剂，其粘度指数很高，故可在低温条件下使用，因而适用于建筑机械、工程机械及起重机械的液压系统。

锭子油是高度精制的液压油，其凝固点低，与稠化液压油的使用情况相似。

2. 液压油粘度的选择

在旧标准中，工业上使用的压缩机油、气缸油及液压油等是按100℃时运动粘度的中心值来划分牌号的，其它油则按50℃时运动粘度的中心值来划分牌号。按GB3141—82的规定，今后各类油均以40℃时运动粘度的中心值来划分牌号，并在号前加“N”字。国产油新旧牌号对照列于图16-3-1。

选择液压油时，粘度是一个重要的指标，粘度直接影响液压系统的效率、灵敏度和可靠性。在一

定的条件下，选用的油液粘度过高或过低都会影响液压系统的正常工作。

液压油粘度的选择与油泵的类型、使用环境的温度、工作压力的高低、执行机构的运动速度及允许的泄漏量有关。表16-3-5给出了按油泵类型推荐使用的液压油的粘度。

表16-3-5 按油泵类型推荐使用的
液压油的粘度

油泵类型		环境温度14~38℃	环境温度38~80℃
		mm ² /s (40℃)	mm ² /s (40℃)
齿轮泵		27~63	100~132
叶片泵	6.3MPa以下	27~63	40~70
	6.3MPa以上	50~63	58~90
柱塞泵		27~63	100~200
螺杆泵		27~63	100~132

一般来说，当环境温度高时宜选用粘度大的油，而环境温度低时宜选用粘度小的油。例如夏季可选用N32~N46油，而冬季则选用N15油。

当系统工作压力较高或执行机构运动速度较低时，使用粘度大的油可防止泄漏量过大，而工作压力较低或执行机构运动速度较高时，选用粘度小的油可减小摩擦损失。

此外，当由于各种原因造成的泄漏所占的比例较大时，也应选择粘度较大的油。

(四) 液压系统的净化

液压系统在制造、装配和使用的过程中会受到各种污物和水分污染，这种污染不仅会加快运动零件的磨损、使节流孔堵塞，更有甚者，其中的水分会使零件锈蚀，以致系统根本无法工作。统计资料表明，液压系统故障的60~70%是由于系统被污染造成的。

液压系统的污染可能来源于油液本身，这是由于油液的制造和存放不当造成的。因此，在加油时应进行过滤。液压系统的污染经常是在系统的装配过程中产生的，例如对各元件、管路、接头及油箱等的清洗不彻底，必然会在以后的运转中将污物混入油液中，因此系统装配时的彻底清洗是最为重要的。液压系统的污染也可能在设备的使用过程中产生，例如在使用中有冷却液、铁屑及灰尘落入油箱内或换油周期过长等均可导致油液的污染。

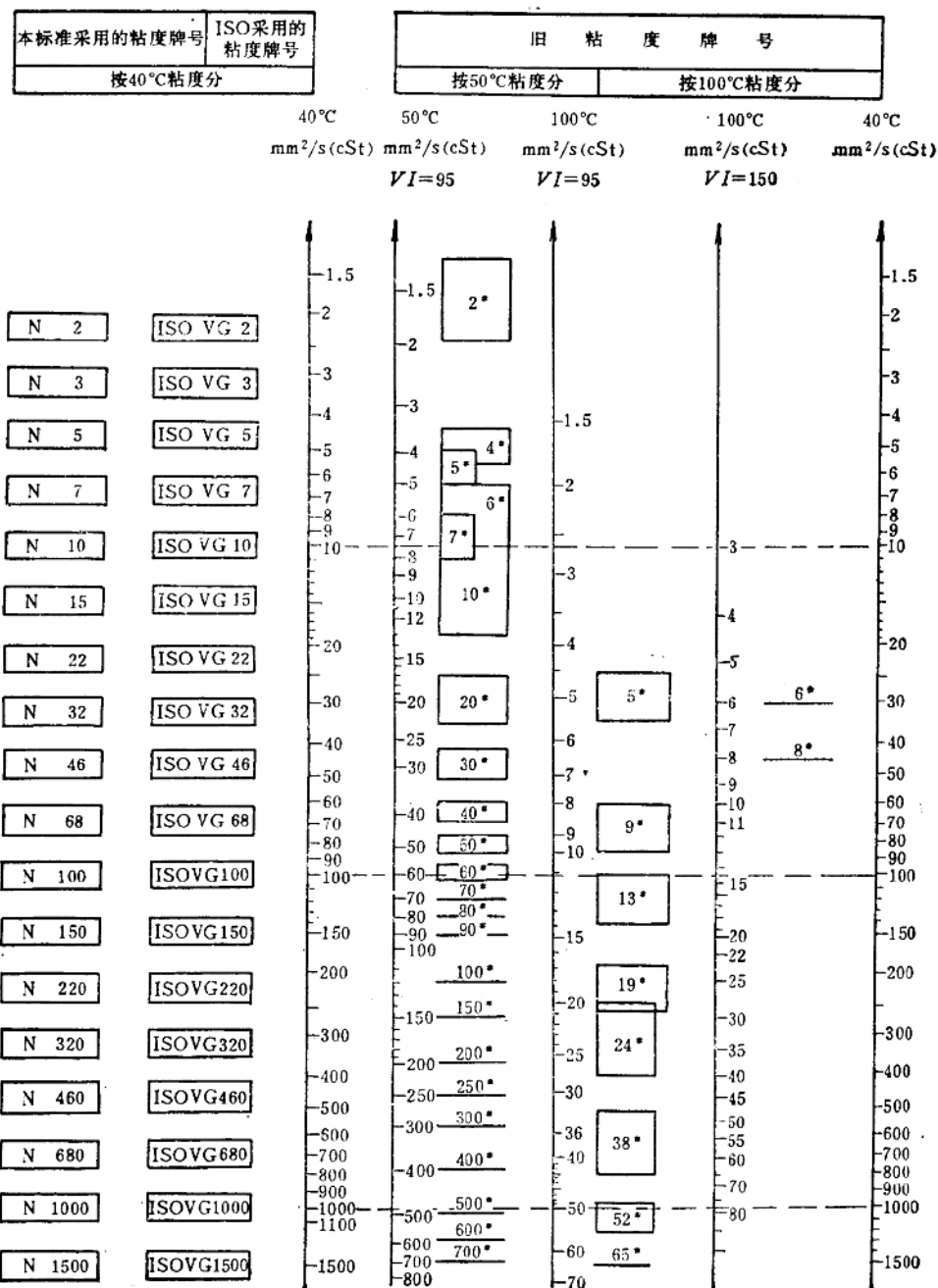


图16-3-1 国产油新旧牌号对照图 (GB3141—82)

1. 液压油污染等级

我国目前尚无有关的标准,美国全国科学院(NAS)是按每100mL油液中所含颗粒的尺寸和个数作为衡量油液污染程度的标准的。测量方法是用显微镜观察并计数,其等级标准列于表16-3-6。

表16-3-6 NAS1638污染等级标准
(100mL中的颗粒数)

颗粒尺寸 (μm)	5~15	15~25	25~50	50~100	>100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	88	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	253	45	8
6	16000	2850	506	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2880	512
12	1024000	182400	32400	5760	1024

2. 液压油混入杂质的限度

液压油中混入杂质可导致相对滑动表面的磨损,严重的甚至可能出现卡死现象,此外还可造成节流元件的堵塞。杂质体积的大小及数量的多少对产生上述现象的影响最大。因为液压元件的间隙均小于节流孔道,故限制杂质的尺寸时主要考虑元件的间隙。除了间隙的大小以外,相对滑动表面的运动速度也是一个重要的因素。当相对运动的速度低时,也可能由小于间隙的杂质微粒的淤积而将间隙堵塞,因此一般规定所允许的最大微粒的尺寸不得超过最小间隙的1/3,以防止堵塞。同时在不产生淤积的前提下,最大微粒的尺寸不得超过最小间隙的3/4,以防止磨损。表16-3-7给出了各种主要液压元件的典型间隙。

3. 液压油的更换

我国目前尚无正式的换油指标标准,根据1988年“液压油L-HL换油指标”(送审稿)中规定,凡液压油有一项指标达到表16-3-8中规定的换油指标时即应更换新油。

我国目前一般是以油液的工作时间作为换油标准,一般规定在新设备注油后,运转不超过三个月应将油液全部换新。以后换油的周期大约为实际运转时间2500小时左右。此处应该指出,在换油时,一定要把已经使用过的油液全部清除掉,并将

表16-3-7 各种主要液压元件的
典型间隙(或孔径)

项 目	典型间隙(μm)
齿轮泵(加压型)	
齿轮对侧板	0.5
齿顶对壳体	0.5
叶片泵	
叶片顶部	0.5
叶片侧部	5~13
柱塞泵	
柱塞对孔(R)+	15~40
阀板对缸体	1.5~10
伺服阀	
阻尼孔(孔径)	130~450
挡板壁	18~68
滑阀——套(R)+	2.5~8
控制阀	
阻尼孔(孔径)	130~10000
滑阀——套(R)+	2.5~23
碟形	1.5~5
摆动形	13~40
执行机构	50~250
静压轴承	1~25
径向滑动轴承	1.5~10
推力轴承	1.5~10
齿轮泵(固定的齿轮端面侧隙)	25~50

注:(R)+为径向间隙。

表16-3-8 液压油换油指标

项 目	换油指标	试验方法
外观	不透明或混浊	目测
40℃运动粘度变化率, % 不大于	±10	见注①
色度变化(比新油), 号 等于或大于	3	GB6540
酸值, mgKOH/g 大于	0.3	GB264
水份, % 大于	0.1	GB260
机械杂质, % 大于	0.1	GB511
铜片腐蚀, (100℃, 3h) 级, 等于或大于	2	GB5096

① 40℃运动粘度 η 变化率(%)按下式计算:

$$\eta = \frac{\nu_1 - \nu_2}{\nu_2} \times 100$$

式中 ν_1 ——使用油的粘度实测值 (mm^2/s);
 ν_2 ——新油粘度的实测值 (mm^2/s);
 ν_1 及 ν_2 按GB265测定。

整个系统进行彻底的清洗,然后再注入新油。

(五) 国内外液压油对照表

表16-3-9~11分别列出了我国与世界各主要国家或公司的普通油、精密机床液压油和液压-导轨油以及航空液压油的牌号对照表。

表16-3-9 普通油对照表

国 产 油	苏 联 (ГОСТ)		壳 牌 公 司 (SHELL)	加州德士古公司 (CALTEX)	埃 索 公 司 (ESSO)	飞 马 公 司 (MOBIL GARGOYLE VACUUM)	美 国 规 格	出 光 公 司 (日本规格JISK)	德意志联邦共和国 标 准 (DIN)
	按40°C时粘 度规定的代号	按50°C时粘 度规定的代号							
N15号 机械油	10号机械油	12号机器油 (锭子油2)	Vitrea 13.21 Carnea 15.21 Tellus 13.15-21.23	Libra Spindale B Spindura CC. DD.	Spinesso 34	Vecolin 10 Velocite S Velocite D	Fed-W-512	ダフニ机械油 85° ダフニ液圧油 85° ダフニ机械油115°	51501-2.5/E50 51504-D 2.5/E50
N32号 机械油	20号机械油	20号机器油 (锭子油3)	Vitrea 27 Carnea 25.27 Turbo 27	Nabob Spindale C. D. Spindura EE. FF.	Spinesso 36.38	Vactra L Vactra 1° Velocite C D. T. ELight D. T. E Medium	NS2075 NBS431 NS2110 NBS431	电机油 110°	51501-3.5/E50 51501-D502 29CST 6543-3.5°E50
N46号 机械油	30号机械油	30号机器油 (机器油J)	Vitrea 31.33 Carnea 29.31 Limea 29	Alepp Spindura GG.	Millikol K-40	Vactra MH Vactra M D. T. E Medium	NS2135 NBS431 NS9170 NBS431	机械油 120°	51501-4.5/E50 51501-D 4.5/E50 6543-4.5°E50 6545-4.5°E50
N68号 机械油	40号机械油	45号机器油 (机器油C)	Vitrea 33 Carnea 35 Limea 33	Altair Aigol Way Lube D	Millikol K-50 Eebis K-53 Esstic-50	D. T. E Heavy B. R. B №4 GREASE Vactra H.2°	NS13050 NBS431	透平油 160°	6543-5.5°E50 6545-5.5°E50
N80号 机械油	50号机械油	50号机器油 (机器油CY)	Vitrea 37.41 Carnea 41 Limea 41	Artes		D. T. E BB Vactra 3°	NS3050 NBS431 NS9250 NBS431	透平油 200°	51501-6.5/E50 51504-D 6.5/E50 6545-6.5°E50 6543-6.5°E50
N120号 机械油	70号机械油		Carnea 45.51 Limea 51 Vitrea 69	Arcturus		D. T. E AA Vactra EH.		船用内燃机油 3°	51501-9/E50 51504-D9/E50 6545-9°E50
N150号 机械油	90号机械油		Vitrea 69.71 Carnea 67.71 Limea 69.71	Aurigo Meropa		Vaco Line AA D. T. E HH Vactra 4°		船用内燃机油 4°	51501-12°E50 51504-D 12°E50 6545-12°E50

(续)

国 产 油		苏 联	壳 牌 公 司	加州德士古公司	埃 索 公 司	飞 马 公 司 (MOBIL GARGOYLE VACUUM)	美 国 规 格	出 光 公 司 (日本规格JISK)	德意志联邦共和国 标 准 (DIN)
按40°C时粘 度规定的代号	按50°C时粘 度规定的代号	(ГОСТ)	(SHELL)	(CALTEX)	(ESSO)				
N32号 汽轮机油	22 号 汽轮机油	22号透平油 (透平油T)	Tellus 23.27 Turbo 27	Regal A Regal B	Teresso 43	D. T. E Light D. T. E Medium Pegasus Turbine Light Pegasus Hydraulic Light Vacuoline 1405	GR8 (Fed-W-O-661)	透平油90° 电机油80° ダフニ机械油44° ダフニ透平油90° ダフニ液压油44°	6554-3.5°E90
N46号 汽轮机油	30 号 汽轮机油	30号透平油 (透平油YT)	Tellus 29.31.33 Turbo 29.31.33	Regal E Regal C	Teresso 47.49.52	D. T. E Medium D. T. E 25.26 Vacuoline 1407 1409 Pegasus Turbine Light Pegasus Hydraulic Light	GR20 (Fed-W-O-661)	透平油140° ダフニ透平油52° ダフニ机械油52° ダフニ液压油52°	6554-4.5°E50
N68号 汽轮机油	46 号 汽轮机油	46号透平油 (透平油T)	Tellus 37.41 Turbo 37	Regal E	Teresso 52	D. T. E Heavy D. T. E 2° Pegasus Hydraulic Heavy	SAE30 (U. S. A- 140BAM5)	透平油180° ダフニ透平油60° ダフニ机械油65° ダフニ液压油65°	
N100号 汽轮机油	57 号 汽轮机油	57号透平油 速机油	Tellus 41.69 Turbo 41.72	Regal F		D. T. E EH D. T. E 3°	NS2190 NBS431	透平油200° ダフニ透平油60° ダフニ机械油75° 85°, 115°	
N15号 汽缸油	11 号 汽缸油	11号汽缸油	J 78 (混合)			Compounds			

第4节 液压系统通用标准 及图形符号

(一) 液压系统的压力、排量和流量

1. 压力分级

压力分级见表16-4-1。

表16-4-1 压力分级 (JB824—66)

(MPa)

压力分级	低 压	中 压	中高压	高 压	超高压
压力范围	0~2.5	>2.5~8	>8~16	>16~31.5	>31.5

2. 液压系统的公称压力和试验压力

液压系统的公称压力和试验压力见表16-4-2。

表16-4-2 液压系统的公称压力和

试验压力 (GB 2346—80)
(GB 1048—70) (MPa)

公称压力	试验压力	公称压力	试验压力	公称压力	试验压力
0.01	0.016	0.63	1.0	16	20
0.016	0.025	(0.8)	(1.25)	20	25
0.025	0.04	1.0	1.6	25	31.5
0.04	0.063	1.6	2.5	31.5	40
0.063	0.1	2.5	4.0	40	50
0.1	0.16	4.0	5.6	50	63
0.16	0.25	6.3	9.0	63	80
(0.2)	(0.315)	(8)	(11)	80	100
0.25	0.4	10	13	100	130
0.4	0.63	(12.5)	16		

注：1. 括号内数值为非优先选用者。

2. 公称压力超过 100 MPa 时，按 GB321—80 中的 R10 数系选用，试验压力可按公称压力的 1.3 倍选用。

3. 油泵及液压马达的公称排量

油泵及液压马达的公称排量见表 16-4-3。

表16-4-3 油泵及液压马达的公称排量

(GB2347—80) (mL/r)

0.1	1.0	10	100	1000
			(112)	(1120)
	1.25	12.5	125	1250
		(14)	(140)	(1400)
0.16	1.6	16	160	1600
		(18)	(180)	(1800)
	2.0	20	200	2000
		(22.4)	(224)	(2240)
0.25	2.5	25	250	2500
		(28)	(280)	(2800)
	3.15	31.5	315	3150
		(35.5)	(355)	(3550)
0.4	4.0	40	400	4000
		(45)	(450)	(4500)
	5.0	50	500	5000
		(56)	(560)	(5600)
0.63	6.3	63	630	6300
		(71)	(710)	(7100)
	8.0	80	800	8000
		(90)	(900)	(9000)

注：1. 括号内公称排量为非优先选用者。

2. 超出本系列 9000 mL/r 的公称排量应按 GB 321—80《优先数和优先数系》中 R10 数系选用。

3. $1 \text{ mL/r} = 16.7 \text{ cm}^3/\text{s}$ 。

4. 液压系统的公称流量

油压系统的公称流量见表 16-4-4。

表16-4-4 液压系统的公称流量

(JB824—66) (L/min)

	1	10	100	1000
			125	1250
	1.6	16	160	1600
			200	2000
0.25	2.5	25	250	2500
		31.5	315	3150
0.4	4	40	400	4000
		50	500	5000
0.63	6.3	63	630	
		80	800	

(二) 液压系统管路及管路附件的公称通径

液压系统管路及管路附件的公称通径见表 16-4-5。

表 16-4-5 液压系统管路及管路附件的公称通径 (GB1047—70) (mm)

1	15	100	350	1000	2000	3600
2	20	125	400	1100	2200	3800
3	25	150	450	1200	2400	4000
4	32	175	500	1300	2600	
5	40	200	600	1400	2800	
6	50	225	700	1500	3000	
8	65	250	800	1600	3200	
10	80	300	900	1800	3400	

(三) 油缸内径的系列参数

油缸内径的系列参数见表 16-4-6。

表 16-4-6 油缸内径的系列参数

(GB2348—80) (mm)

8	10	125	320
10	50	(140)	400
12	63	160	500
16	80	(180)	630
20	(90)	200	
25	100	(220)	
32	(110)	250	

(四) 活塞杆外径的系列参数

活塞杆外径的系列参数见表 16-4-7。

表 16-4-7 活塞杆外径的系列参数

(GB2348—80) (mm)

4	18	45	110	280
5	20	50	125	320
6	22	56	140	360
8	25	63	160	400
10	28	70	180	
12	32	80	200	
14	36	90	220	
16	40	100	250	

注：超出本系列 400mm 的活塞杆外径尺寸按 GB321—80 中 R20 系列选用。

(五) 柱塞及阀杆外径的系列参数

柱塞及阀杆外径的系列参数见表 16-4-8。

表 16-4-8 柱塞及阀杆外径的系列参数

(GB2348—80) (mm)

4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
22	25	28	32	36	40	45	50	60	63
70	80	90	100	110	125	140	160	180	200
220	250	280	320	360	400				

(六) 液压系统图的图形符号及各国图形符号的对照

我国液压系统图的图形符号 (GB786—76) 及各国图形符号对照表见附录中附表 16-1, 基本符号的典型组合示例见附录中附表 16-2。GB786—76 中已废除的 GB786—65 的符号说明见附录中附表 16-3。下面对 GB786—76 标准规定的图形符号做如下说明。

(1) 本标准规定的图形符号主要用于绘制以液压油为工作介质的液压系统原理图。

(2) 各符号只表示元件的职能及连接系统的通路, 不表示元件的具体结构和参数, 也不一定表示管路的具体位置及元件的安装位置。

(3) 元件的符号均以静止位置或零位置表示, 当组成系统的动作另有说明时作为例外。

(4) 符号在系统图中的布置, 除有方向性的元件符号 (如油箱、仪表等) 外, 根据具体情况可水平或垂直绘制。

(5) 元件的名称、型号和参数 (如压力、流量、功率、管径等) 一般在系统图的元件表中标明, 必要时可标注在元件符号的旁边。

(6) 本标准中未规定的图形符号, 可以根据本标准所规定的原则和所列图例的规律性进行派生。当无法直接引用或派生时, 或者有必要特别说明系统中某一重要元件的结构及动作原理时, 均允许局部采用结构简图表示。

(7) 符号的大小以清晰美观为原则, 根据图样幅面的大小酌情处理, 但应保持图形本身的比例, 相同符号的图形大小应一致。

第 5 节 油泵和液压马达

油泵和液压马达分属动力源和执行机构两部