

液压与气压传动概述

培养目标

本章要求学生熟练掌握液压与气压传动的概念以及它们的工作原理,掌握液压与气压传动系统的基本组成,了解液压与气压传动的优缺点,初步了解它们的表达方式。

1.1 液压与气压传动的概念与工作原理

1.1.1 液压与气压传动的概念

液压与气压传动统称为流体传动,都是利用有压流体(液体或气体)作为工作介质来传递动力或控制信号的一种传动方式。

液体传动分为液力传动和液压传动两种形式。液力传动主要是利用液体的动能来传递能量;而液压传动则主要是利用液体的压力能来传递能量。本书主要介绍以液压油为工作介质的液压传动技术。液压传动利用液压泵,将原动机(马达)的机械能转变为液体的压力能,然后利用液压缸(或液压马达)将液体的压力能转变为机械能,以驱动负载,并获得执行机构所需的运动速度。液压传动的理论基础是液压流体力学。

气压传动是以压缩空气为工作介质进行压力或信号传递及控制,进而实现生产机械化和自动化的一门技术。其传动和控制原理与液压传动基本相同,但由于系统中的工作介质及其特性有很大区别,因此,这两种系统的工作特性及其应用场合也有所不同。

1.1.2 液压与气压传动的工作原理

下面通过举例介绍液压与气压传动的工作原理。

1. 千斤顶液压传动系统

讨论液压传动的工作原理可以从最简单的液压千斤顶入手,图 1.1 所示为该液压千斤顶的工作原理示意图。液压千斤顶由手动柱塞泵和举升缸两部分构成。手动柱塞泵由杠杆 1、小活塞 2、小缸体 3、单向阀 4 和 5 等组成;举升缸由大缸体 7、大活塞 6、卸油阀 9 组成;另外还有重物 8 和油箱 10。

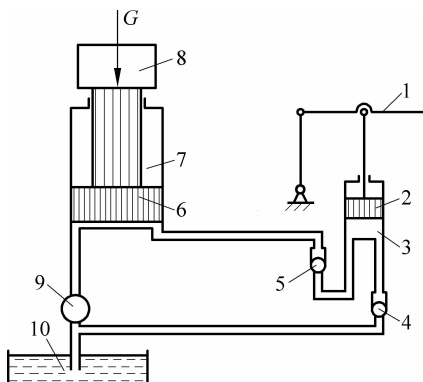


图 1.1 液压千斤顶的工作原理示意图

1—杠杆；2—小活塞；3—小缸体；4、5—单向阀；

6—大活塞；7—大缸体；8—重物；9—卸油阀；10—油箱

工作时,先提起杠杆1,小活塞2被带动上升,小缸体3下腔的密闭容积增大,腔内压力降低,形成部分真空,单向阀5将所在油路关闭,而油箱10中的油液则在大气压力的作用下,推开单向阀4的钢球,沿吸油孔道进入并充满小缸体3的下腔,完成一次吸油动作。接着压下杠杆1,小活塞2下移,小缸体3下腔的密闭容积减小,其腔内压力升高,使单向阀4关闭,阻断了油液流回油箱的通路,并使单向阀5的钢球受到一个向上的作用力,当这个作用力大于大缸体7下腔对它的作用力时,钢球被推开,油液便进入大缸体7的下腔(卸油阀9处于关闭状态),推动大活塞6向上移动,将重物8顶起一段距离。反复提压杠杆1,就可以使大活塞6推举重物8不断上升,达到举重的目的。将卸油阀9转动 90° ,大缸体7下腔与油箱10连通,大活塞6在重物8推动下下移,下腔的油液通过卸油阀9排回油箱10。

2. 剪切机的气压传动系统

现以剪切机为例,介绍气压传动的工作原理。图1.2(a)所示为剪切机的结构原理图,图示位置为剪切情况。空气压缩机1产生的压缩空气经冷却器2、分水排水器3、储气罐4、空气过滤器5、减压阀6、油雾器7到达换向阀9,部分气体经节流通路a进入换向阀9的下腔,使上腔弹簧压缩,换向阀阀芯位于上端;大部分压缩空气经换向阀9后由b路进入气缸10的上腔,而气缸的下腔经c路、换向阀与大气相通,故气缸活塞处于最下端位置。当上料装置把工件11送入剪切机并到达规定位置时,工件压下行程阀8,此时换向阀阀芯下腔压缩空气经d路、行程阀排入大气,在弹簧的推动下,换向阀阀芯向下运动至下端;压缩空气则经换向阀9后由c路进入气缸的下腔,上腔经b路、换向阀与大气相通,气缸活塞向上运动,剪刀随之上行剪断工件。工件被剪下后,即与行程阀脱开,行程阀阀芯在弹簧作用下复位,d路堵死,换向阀阀芯上移,气缸活塞向下运动,又恢复到剪断前的状态。

由以上分析可知,剪刀克服阻力剪断工件的机械能来自压缩空气的压力能,提供压缩空气的是空气压缩机;气路中的换向阀、行程阀起改变气体流动方向、控制气缸活塞运动方向的作用。图1.2(b)所示为用图形符号(又称职能符号)绘制的剪切机系统原理图。

从液压传动系统和气压传动系统这两个例子可以看出:

(1) 液压与气压传动是分别以液体和气体作为工作介质来进行能量传递和转换的。

(2) 液压与气压传动是分别以液体和气体的压力能来传递动力和运动的。

(3) 液压与气压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的。

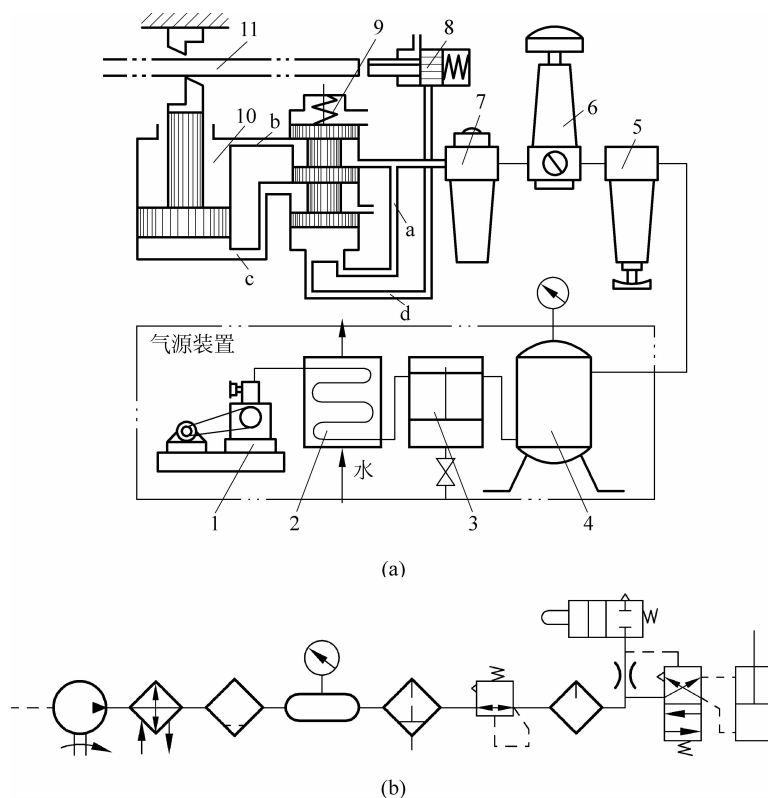


图 1.2 剪切机的气压传动工作原理图

(a) 结构原理；(b) 图形符号

1—空气压缩机；2—冷却器；3—分水排水器；4—储气罐；5—空气过滤器；

6—减压阀；7—油雾器；8—行程阀；9—换向阀；10—气缸；11—工件

1.2 液压与气压传动的组成

尽管液压传动系统和气压传动系统的各自特点不尽相同,但其组成形式类似。从上述的液压和气压传动系统的工作原理图可以看出,液压与气压传动系统大体上由以下 5 部分组成:

(1) 动力装置。动力装置是指能将原动机的机械能转换成液压能或气压能的装置,它是液压与气压传动系统的动力源。对液压传动系统来说是液压泵,其作用是为液压传动系统提供压力油;对气压传动系统来说是气压发生装置,也称为气源装置,其作用是为气压传动系统提供压缩空气。

(2) 控制及调节装置。它包括各种阀类元件,其作用是用来控制工作介质的流动方向、压力和流量,以保证执行元件和工作机构按要求工作。

(3) 执行元件。执行元件指缸或马达,是将压力能转换为机械能的装置,其作用是在工

作介质的作用下输出力和速度(或转矩和转速),以驱动工作机构做功。

(4) 辅助装置。除以上装置外的其他元器件都称为辅助装置,如油箱、过滤器、蓄能器、冷却器、油雾器、消声器、管件、管接头以及各种信号转换器等。它们是一些对完成主运动起辅助作用的元件,在系统中也是必不可少的,对保证系统正常工作有着重要的作用。

(5) 工作介质。工作介质指传动液体或传动气体,在液压传动系统中通常称为液压油液,在气压传动系统中通常指压缩空气。

液压与气压传动系统在工作过程中的能量转换和传递情况见图 1.3。

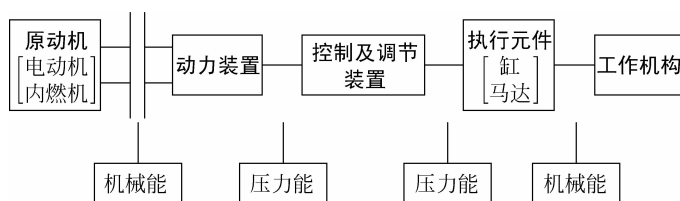


图 1.3 液压与气压传动系统能量转换和传递图

1.3 液压与气压传动系统图的表示方法

如图 1.2(b) 中组成气压传动系统的部分元件是用国家标准所规定的图形符号绘制的。

用半结构式图形绘制原理图时直观性强、容易理解,但绘制起来比较麻烦,特别是在系统中的元件数量比较多时更是如此。所以,在工程实际中,除某些特殊情况外,一般都是用简单的图形符号来绘制液压与气压传动系统原理图。在用图形符号绘制系统原理图时,图中的符号只表示元(辅)件的功能、操作(控制)方法及外部接口,不表示元(辅)件的具体结构和参数,也不表示接口的实际位置和元(辅)件的安装位置。在用图形符号绘图时,除非特别说明,图中所示状态均表示元(辅)件的静止位置或零位置,并且除特别注明的符号或有方向性的元(辅)件符号外,它们在图中可根据具体情况水平或垂直绘制。使用这些图形符号后,可使系统图简单明了,便于绘制。当有些元件无法用图形符号表达或在国家标准中未列入时,可根据标准中规定的符号绘制规则和所给出的符号进行派生。当无法用标准直接引用或派生时,或有必要特别说明系统中某一元(辅)件的结构和工作原理时,可采用局部结构简图或采用它们的结构或半结构示意图来表示。在用图形符号绘图时,符号的大小应以清晰、美观为原则,绘制时可根据图纸幅面的大小酌情处理,但应保持图形本身的适当比例。

1.4 液压与气压传动的优缺点

液压与气压传动虽然都是以流体作为工作介质来进行能量的转换和传递,其系统的组成又基本相同,但由于所使用的工作介质不同,使得这两种系统有各自不同的特点。

1. 液压传动的优缺点

(1) 与电动机相比,在同等体积下,液压装置能产生更大的动力,也就是说,在同等功率下,液压装置的体积小、质量轻、结构紧凑,即它具有大的功率密度或力密度(力密度在这里指工作压力)。

(2) 液压装置容易做到对速度的无级调节,而且调速范围大,并且对速度的调节还可以在工作过程中进行。

(3) 液压装置工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向。

(4) 液压装置易于实现过载保护,能实现自润滑,使用寿命长。

(5) 液压装置易于实现自动化,可以很方便地对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制,并能很容易地和电气、电子控制或气压传动控制结合起来,实现复杂的运动和操作。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

(7) 由于液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使这种传动无法保证严格的传动比。

(8) 液压传动有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失等),因此,传动效率相对低。

(9) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在较高或较低的温度下工作。

(10) 液压传动在出现故障时不易诊断。

2. 气压传动的优缺点

(1) 气压传动的工作介质是空气,它取之不尽、用之不竭,用后的空气可以排到大气中去,不会污染环境。

(2) 气压传动的工作介质黏度很低,所以流动阻力很小,压力损失小,便于集中供气和远距离输送。

(3) 气压传动对工作环境适应性好,在易燃、易爆、多尘埃、强辐射、振动等恶劣工作环境下,仍能可靠地工作。

(4) 气压传动动作速度及反应快。液压油在管道中的流动速度一般为 $1\sim 5\text{m/s}$,而气体流速可以大于 10m/s ,甚至接近声速,因此在 $0.02\sim 0.03\text{s}$ 内即可以达到所要求的工作压力及速度。

(5) 气压传动有较好的自保持能力。即使压缩机停止工作,气阀关闭,气压传动系统仍可维持一个稳定压力。而液压传动要维持一定的压力,需要能源装置工作或在系统中加蓄能器。

(6) 气压传动在一定的超负载工况下运行也能保证系统安全工作,并不易发生过热现象。

(7) 气压传动系统的工作压力低,因此气压传动装置的推力一般不宜大于 40kN ,仅适用于小功率的场合。在相同输出力的情况下,气压传动装置比液压传动装置尺寸大。

(8) 由于空气的可压缩性大,气压传动系统的速度稳定性差,给系统的位置和速度控制精度带来很大影响。

(9) 气压传动系统的噪声大,尤其是排气时,须加消声器。

(10) 气压传动工作介质本身没有润滑性,如不采用无给油气压传动元件,需另加油雾器进行润滑,而液压系统无此问题。

思考题与习题

- 1.1 何谓液压传动? 液压传动的基本原理是什么?
- 1.2 何谓气压传动? 气压传动的原理是什么?
- 1.3 简述液压与气压传动系统的基本组成。
- 1.4 简述液压与气压传动的优缺点。

液压流体力学基础

培养目标

液体是液压传动的工作介质,因此,要求学生了解液体的基本性质,掌握液体平衡和运动的主要力学规律,这对于正确理解液压传动的工作原理及合理设计和使用液压系统都是十分重要的。

流体力学是研究流体(液体和气体)在外力作用下平衡和运动规律的一门学科。流体力学中研究得最多的流体是水和空气。流体力学是力学的一个分支,它涉及许多方面的内容,本章主要介绍和液压与气压传动有关的一些基本知识,为以后学习、分析、使用及设计液压与气压传动系统打下必要的理论基础。

2.1 液 压 油

液压油是液压传动系统的重要组成部分,是用来传递能量的工作介质。除了传递能量,它还起着润滑运动部件和保护金属不被腐蚀的作用。液压油的质量及其各种性能将直接影响液压系统的工作。

2.1.1 液压油的性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

式中, V 为液体的体积; m 为体积为 V 的液体的质量; ρ 为液体的密度。

密度是液体的一个重要物理参数。随着温度或压力的变化,其密度也会发生变化,但变化量一般很小,可以忽略不计。一般液压油的密度为 900kg/m^3 。

2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减少的性质称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体,当压力增大 Δp 时,体积减小 ΔV ,则液体在单位压力变化下的体积相对变化量为

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (2.2)$$

式中, k 称为液体的压缩系数。由于压力增大时液体的体积减小, 因此式(2.2)的右边须加一负号, 以使 k 为正值。

k 的倒数称为液体的体积弹性模量, 以 K 表示

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V \quad (2.3)$$

K 表示产生单位体积相对变化量所需要的压力增量, 在实际应用中, 常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小。

液压油的体积弹性模量为 $K = (1.2 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$, 数值很大, 故对于一般液压系统, 可认为油液是不可压缩的。但是, 若液压油中混入空气时, 其可压缩性将显著增加, 并将严重影响液压系统的工作性能。故在液压系统中尽量减少油液中的空气含量。

3. 黏性

1) 黏性的意义

液体在外力作用下流动时, 液体分子间的内聚力会阻碍分子相对运动, 即分子之间产生一种内摩擦力, 这一特性称为液体的黏性。黏性是液体的重要物理特性, 也是选择液压用油的依据。

液体流动时, 由于液体和固体壁面间的附着力以及液体的黏性, 会使液体各液层间的速度大小不等。如图 2.1 所示, 设在两个平行平板之间充满液体, 当上平板以速度 u_0 相对于静止的下平板向右移动时, 在附着力的作用下, 紧贴于上平板的液体层速度为 u_0 , 而中间各层液体的速度则从上到下近似呈线性递减的规律分布, 这是因为在相邻两液体层间存在有内摩擦力的缘故, 该力对上层液体起阻滞作用, 而对下层液体则起拖拽作用。

实验测定结果表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_f 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比, 即

$$F_f = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2.4)$$

式中, μ 为比例系数, 又称为黏性系数或动力黏度。

若以 τ 表示液层间在单位面积上的内摩擦力, 则式(2.4)可写成

$$\tau = \frac{F_f}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$

这就是牛顿液体内摩擦定律。

由式(2.5)可知, 在静止液体中, 因速度梯度 $\frac{du}{dy} = 0$, 故内摩擦力为零, 因此液体在静止状态下是不呈现黏性的。

2) 液体的黏度

液体黏性的大小用黏度来表示。常用的黏度有三种, 即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

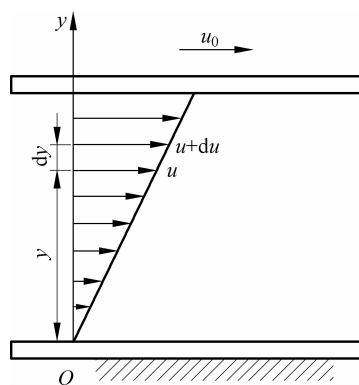


图 2.1 液体的黏性示意图

(1) 动力黏度 μ

它是表征液体黏度的内摩擦系数,故由式(2.5)可知

$$\mu = \tau / \frac{du}{dy} \quad (2.6)$$

由此可知动力黏度的物理意义是:当速度梯度等于1时,接触液体液层间单位面积上的内摩擦力 τ ,即为动力黏度,又称绝对黏度。

在我国法定计量单位制及 SI 制中,动力黏度 μ 的单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或用 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 表示。

在 CGS 制中, μ 的单位为 $\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$,又称为 P(泊)。P 的百分之一称为 cP(厘泊)。其换算关系如下

$$1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$$

(2) 运动黏度 ν

动力黏度 μ 和该液体密度 ρ 之比值 ν 称为运动黏度。即

$$\nu = \mu / \rho \quad (2.7)$$

运动黏度 ν 没有明确的物理意义。因为在其单位中只有长度和时间的量纲,所以称为运动黏度。它是工程实际中经常用到的物理量。

在我国法定计量单位制及 SI 制中,运动黏度 ν 的单位是 m^2/s 。

在 CGS 制中, ν 的单位是 cm^2/s ,通常称为 St(斯[托克斯])。1St=100cSt(厘斯[托克斯])。

两种单位制的换算关系为

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$$

就物理意义来说, ν 并不是一个黏度的量,但工程中常用它来标志液体的黏度。例如,液压油的牌号,就是这种油液在 40°C 时的运动黏度 $\nu(\text{mm}^2/\text{s})$ 的平均值,如 L-AN32 液压油就是指这种液压油在 40°C 时的运动黏度 ν 的平均值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$ (即 32cSt)。

(3) 相对黏度

相对黏度又称条件黏度。它是采用特定的黏度计在规定的条件下测出来的液体黏度。根据测量条件的不同,各国采用的相对黏度的单位也不同。如我国、德国及俄罗斯等国采用恩氏黏度($^\circ\text{E}$),美国采用国际赛氏黏度(SSU),英国采用雷氏黏度(R),等等。

恩氏黏度由恩氏黏度计测定,即将 200cm^3 的被测液体装入底部有 $\phi 2.8\text{mm}$ 小孔的恩氏黏度计的容器中,在某一特定温度 $t^\circ\text{C}$ 时,测定液体在自重作用下流过小孔所需的时间 t_1 ,和同体积的蒸馏水在 20°C 时流过同一小孔所需的时间 t_2 之比值,便是该液体在 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度。

恩氏黏度用符号 $^\circ\text{E}_t$ 表示

$$^\circ\text{E}_t = t_1 / t_2 \quad (2.8)$$

一般以 20°C 、 50°C 、 100°C 作为测定恩氏黏度的标准温度,由此而得来的恩氏黏度分别用 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 和 $^\circ\text{E}_{100}$ 表示。

恩氏黏度和运动黏度的换算关系式为

$$\nu = \left(7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \right) \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2.9)$$

3) 调和油的黏度

选择合适黏度的液压油,对液压系统的工作性能有着十分重要的作用。有时现有的油

液黏度不能满足要求,可把两种不同黏度的油液混合起来使用,称为调和油。调和油的黏度与两种油所占的比例有关,一般可用下面的经验公式计算

$$^{\circ}E = \frac{a^{\circ}E_1 + b^{\circ}E_2 - c(^{\circ}E_1 - ^{\circ}E_2)}{100} \quad (2.10)$$

式中, $^{\circ}E_1, ^{\circ}E_2$ 分别为混合前两种油液的黏度,取 $^{\circ}E_1 > ^{\circ}E_2$; $^{\circ}E$ 为混合后的调和油黏度; a, b 分别为参与调和的两种油液各占的百分比数,其中 $a\% + b\% = 100\%$; c 为系数,其值由表 2.1 查得。

表 2.1 系数 c 的数值

$a/\%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$b/\%$	90	80	70	60	50	40	30	20	10
c	6.7	13.1	17.9	22.1	25.5	27.9	28.2	25	17

4) 黏度和温度的关系

温度对油液黏度影响很大,当油液温度升高时,其黏度显著下降。油液黏度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量,因此希望黏度随温度的变化越小越好。不同的油液有不同的黏度温度变化关系,这种关系叫做油液的黏温特性。

对于黏度不超过 $15^{\circ}E$ 的液压油,当温度在 $30 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 范围内,可用下述近似公式计算温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时的运动黏度

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (2.11)$$

式中, ν_t 为温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时油液的运动黏度($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$); ν_{50} 为温度为 50°C 时油液的运动黏度($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$); n 为与油液黏度有关的特性指数,见表 2.2。

表 2.2 特性指数 n 的数值

$^{\circ}E_{50}$	1.2	1.5	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	15.0
$\nu_{50}/(10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	2.5	6.5	9.5	12	21	30	38	45	52	60	68	76	113
n	1.39	1.59	1.72	1.79	1.99	2.13	2.24	2.32	2.42	2.49	2.52	2.56	2.75

油液温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时的黏度,除用上述公式求得外,还可以从图表中直接查出,图 2.2 为几种常用的国产液压油黏温图。

5) 黏度与压力的关系

压力对油液的黏度也有一定的影响。压力越高,分子间的距离越小,因此黏度变大。不同的油液有不同的黏度压力变化关系,这种关系叫油液的黏压特性。

黏度随压力的变化关系为

$$\nu_p = \nu_0 e^{bp} \quad (2.12)$$

式中, ν_p 为压力为 p 时的运动黏度($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$); ν_0 为一个大气压下的运动黏度($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$); b 为黏度压力系数,对一般液压油 $b=0.002 \sim 0.003$ 。

在实际应用中,当液压系统中使用的矿物油压力在 $0 \sim 500 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的范围内时,可按下式计算油的黏度

$$\nu_p = \nu_0 (1 + 0.003p) \quad (2.13)$$