

机床的液压驱动与 液压自动化

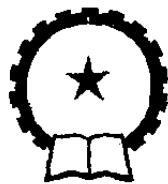
哈伊莫維奇著

机床的液压驱动与 液压自动化

哈伊莫維奇著

清華大學机床工具教研組及交通大學金切教研組沈宏毅等合譯

清华大学机床工具教研組校



机械工业出版社

1958

出版者的話

本書論述机床液压驅動裝置和液压自动化的計算和設計原理。書中还述及液压系統中所用的工作液体和油路以及操縱機構和分配機構等，書末并附有机床上应用液压驅動和液压自动化的实例。

本書可供大專师生及工程技術人員参考用。

苏联 E. M. Хаймович 著 'Гидроприводы и Гидроавтоматика станков' (Машигиз 1953 年第一版)

*

*

*

NO. 1721

1958 年 9 月第一版 1958 年 9 月第一版第一次印刷

850×1168 ¹/₃₂ 字数 266 千字 印張 10 ¹/₂ 0,001— 2,600 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 2.00 元

目 次

序言	5
第一章 液压驱动和液压装置的一般特性及其工作原理	7
1 机械能的传递方法及液压装置的特点	7
2 液压装置的工作原理	9
第二章 液压系统中的工作液体	14
1 工作液体的选择	14
2 油的基本性质	17
3 工作液体的密度及压缩性	17
4 比重	19
5 粘度	19
第三章 液压系统的计算	23
1 液压系统计算的任务	23
2 液压损失	25
3 漏油率	44
4 液压计算与电气计算之相似处及其对于复杂油流计算之应用。串流与并流(分支的)之计算	53
5 压力损失及液压系统工作规范计算的线图	58
6 油流所产生的压力计算	60
7 液压系统容量的变化,液体冲击及液压装置起动与停止的允许速度	62
8 液压机构作用的距离及其速度	67
9 液压装置的加速度、速度、位移及作用时间的图解及分析计算	71
10 旋转-活塞式液动机所产生的旋转运动及直线运动的液压过程计算	76
11 速度的缓冲及制动	79
12 液压系统的热计算	84
第四章 机床液压系统的油路	88
1 装有一个油泵和一个油动机的油路	88
2 装有几个油泵及一个油动机或装有一个油泵及几个油动机的油路	91
3 装有几个油动机用来得到几个工作机构并行及连续作用的油路	92
4 垂直移动的油路	94
第五章 机床液压驱动	95
1 非旋转的活塞式液压驱动	95
2 活塞及柱塞的各种型式	96
3 油缸与活塞(或柱塞)的耗油量、速度、压力、功率及效率的计算	99
4 活塞与柱塞的结构形式	105
5 旋转式油泵及油动机	107
6 旋转活塞式油泵及油动机	114
7 旋转式油泵及油动机的设计与计算	120
8 齿轮泵的计算	122
9 齿形及齿轮驱动的设计	126
10 叶片式及活塞式液压驱动的机构及运动学	128
11 叶片式及活塞式液压驱动的输油率和输油均匀性	132

12 力及功率的决定	134
13 叶片式及活塞式油泵和油动机内液体压缩的避免及压力的平衡	138
14 油泵及油动机的自动调节。油泵-油动机的工作特性	139
15 油泵及油动机的特性	142
第六章 操纵机构及分配机构	150
1 分配及调节装置	150
2 安全阀、溢流阀及压力阀	152
3 单向阀及支承阀	163
4 机构的顺序作用阀	165
5 卸荷阀	167
6 自动操纵两级油泵串联和并联工作的阀	167
7 自动调整压力及反压力间关系的所要求运动的获得	168
8 减压阀	171
9 增压器	173
10 运动方向的操纵机构	175
11 速度的调节	194
12 利用可调节式油泵得到均匀的运动速度	205
13 液压时间继电器	208
第七章 液压系统的辅助设备	210
1 储油器	210
2 滤油器	212
3 密封	215
4 油管和管接件	222
第八章 跟随运动的液压机构	224
1 自动操纵	224
2 跟随运动机构	229
3 单坐标靠模的液压靠模装置图	232
4 双坐标靠模装置图	238
5 跟随运动机构工作的分析	245
6 液压跟随系统的动力学	256
7 液压系统的惯性微分方程的组成与分析	256
8 决定跟随运动的振动及稳定性的方法	267
9 确定液压跟随机构基本参数的简单方法	272
第九章 在机床上应用液压驱动和液压自动化的实例	275
1 液压自动机床	275
2 液压万能机床	296
3 牛头刨床的液压系统	300
第十章 液压传动计算举例	303
参考文献	317
附录 I	319
附录 II	330
附录 III	334

序 言

斯大林同志所闡明的社会主义基本經濟法則的主要特点和要求，在于用在高度技术基础上使社会主义生产不断增长和不断完善的办法，来保証最大限度地滿足整个社会經常增長的物質和文化的需要。

在苏联共产党(布)中央委员会第十九次党代表大会的总结报告中，馬林科夫同志指出：「必須坚决消灭在利用我們所有丰富的技术方面的缺点，頑强地实行生产过程綜合的机械化和自动化，在国民經济所有部門广泛地应用科学上和技术上的最新成就……」。

党十九次代表大会关于苏联第五个五年發展計劃的指示中規定了，与 1950 年比較，苏联各工厂出品的品質优良的高精度机床的数量約增加到兩倍，而重型金屬切削机床数量增加到 2.6 倍。所制設備質量提高的保証也决定于驅动机構和自动化裝置的發展和完善，尤其是液压驅动和液压自动化机構。

液压机構应用于很多技术部門，而在金屬切削机床驅动系統中尤为广泛。

关于液压驅动和自动化的应用問題的研究已在很多科学研究机关和某些在这方面有优先条件的工厂中进行着。进行液压裝置和液动的金屬切削机床研究的有：机床实验科学研究院——(ЭНИМС)[杰庫新(В. И. Дикушин)，佐查諾夫(Г. И. Зузанов)，巴尔苏科夫(С. А. Барсуков)，柴依欽柯(И. З. Зайченко)，加梅涅次基(Г. И. Каменецкий)，节尔尼科夫(С. С. Черников)]；敎研組：机床工具学院(СТАНКИН)[阿切尔康(Н. С. Ачеркан)，叶尔馬科夫(В. Н. Ермаков)]，包曼高等工業学院(МВТУ)[波洛高夫亦夫(В. Н. Прокофьев)，亞尼欣(Б. И. Яньшин)]，莫斯科学院[連兴柯(В. А. Лещенко)]，基夫工学院(本書著者)，平茲学院[馬脫維叶夫(И. Б. Матвеев)]，格魯吉亞工学院，机床制造工厂和局[布浪(Л. С.

Брон), 高洛包次金 (Б. Л. Коробочкин) 及其他]。苏联大部分先进的机床制造厂, 包括重型机床制造厂, 广泛地采用了在質量方面比其他各种机构更为优越的液压机构。

在偉大的衛國战争以后, 苏联液动机床的生产有了特別的發展: 建立了若干專門的工厂进行着液压泵, 液动机, 液压装备和液压操縱板的生产。

所生产各种型式的机床中有很多仅帶有液压裝置。苏联工厂生产着很多先进的液动化机床: 外圓, 平面, 內圓, 螺絲和齒輪磨床, 液动化的龍門刨床, 插床, 牛头刨床, 拉床, 精加工机床, 車床, 多刀車床, 鑽床, 組合鑽床, 金剛石鏜床, 銑床以及靠模銑床, 自动綫和自动工厂用的机床。

液压自动化在应用方面不断的增長, 迅速地改进了很多結構, 所以很难在不多的篇幅中把与这重要而新的技术有关的所有問題一一闡明, 尤其是对于很多問題目前还没有足够的研究。因此作者在本書中仅对最重要的, 專門的計算, 液压驅動和液压自动化的設計原理以及某些典型圖形加以說明。

本書系为使用和设计液压机构的工程技术人员所写, 以便帮助他們較快地和較广地掌握和运用液压装备。

机床上已經应用很广的某些裝置, 例如: 气动-液压驅動、液体塑料等, 在本書中完全沒有述及。为了学习这些方面的問題, 作者建議閱讀杂志, НИТОМАШ 會議的材料及專門文献(參閱 317 頁)。

对于本書的批評意見和要求, 請写信到下列地址: Киев, Крещатик, 10, Укрмашигиз。

第一章 液压驱动和液压装置的一般特性及其工作原理

1 机械能的传递方法及液压装置的特点

驱使机器运动的机构(驱动机构)以及各种传动和操纵装置有很多不同的形式。根据所用的部件和机件,可分为:1)机械的;2)电气的;3)液压的;4)气动的。

电气-机械的, 液压-机械的和气动-机械的, 液压-电气的, 液压-气动的组合装置也被广泛的采用着。这些装置正在不断地改进着。

若欲合理地选择和使用这些机构, 必须知道它们的特性, 它们的优缺点, 以及发展情况。

在新型机床的工作中, 无级调速及无级送进的传动装置以及使机床工作自动化的机构有着特殊的意义。

机械传动是应用最普遍的。但在摩擦式机械无级变速机构中, 摩擦表面上将有很大的压力。摩擦力能使机构很快的磨损。此外, 机械无级变速机构价值较高, 而机械式自动化装置在应用的可能性方面受到限制, 也较复杂和笨重。

利用简单而又价廉的交流电动机的电气驱动在驱动机构中应用最广, 它也是其他各种驱动机构的组成部分。电气变速机构应用虽也很广, 但不如液压机构紧凑, 传递运动均匀和变向迅速方面也不如液压装置。电气自动化机构(应用最广)在远距离操纵时虽有其优点, 但在大部分情形下均较液压机构为笨重和复杂, 工作也不如液压机构可靠。

在压缩空气驱动机构中, 工作介质是空气, 因此工作时必须备有获得压缩空气的设备。当压力改变时, 空气的容积改变甚大, 因

此使机构的运动速度急剧地变动。由于这一点,气动机构主要用于运动的均匀性无关紧要之处,例如,气动手钻和砂轮,气锤和气剪,气动卡盘以及转塔车床上气动送料装置等处。由于空气的粘度很小,压缩空气驱动因摩擦损失不大而有可能获得高速运动,例如,转速到 100000 转/分,及线速度到 300 公尺/秒的磨床主轴的旋转运动。为了避免空气在急剧的膨胀的时候温度有很大的降低,以致使空气中所含潮气转变为水或甚至于转变成冰,同时为了防止空气在气动装置中有过大的漏损,其压力取等于 $7 \sim 8$ 公斤/公分²。由于不可能采用高的压力,因此不能获得结构紧凑的气动装置:自动气动机构比起液压机构较为不紧凑和运动不如液压机构的均匀。

近代液压气动机构获得了非常广泛的应用。

利用液体(一般为矿物油)来工作的液压装置有下列优点和特长,由此它在金属切削机床的结构中获得了广泛的应用:

1. 速度及送进量具有无级调速的可能性以保证最有利的切削用量。
2. 在运动的时候有自动操纵切削用量及速度的可能性。
3. 有获得均匀运动的可能性。
4. 在往复和旋转运动中有经常获得快速转换的可能性。
5. 在不大的、尺寸紧凑的和重量不大的机构中有传递大的力和功率的可能性。
6. 机床工作容易自动化。
7. 操纵简单和方便。
8. 对于损坏和过载的保护容易实现。
9. 有可能很容易地实现在工作机构附近对液压系统的压力和力进行控制(用压力计)。
10. 液压装置的位置与轴及传动机构的位置无关,因此有可能最方便地来选择其位置。
11. 液压系统可以很容易由标准部件来组成。

液压驱动的缺点为:

1. 液体在管道中及在其改变流动速度和方向的地点有摩擦损失。当速度增加时, 这些损失也急剧增加, 因而降低了设备的效率及限制了液体的允许速度, 此速度一般取 $10 \sim 20$ 公尺/秒以下, 而对于旋转运动则大于 3500 转/分。

2. 液体经过密封和间隙的内部和外部漏损会降低运动的速度和传动的效率, 而在多数情况下为了避免漏损, 相配零件需要很高的制造精度。

3. 当机构在工作中工作液体温度和粘度改变时, 液体输送和机构运动有不均匀性, 因此在某些液压系统中引起调整机构有重新调整的必要性。

4. 由于液体的有漏损和压缩性, 因此不可能有简单的机构来准确地使运动得到协调, 例如, 切削螺纹的传动链或齿轮切削机床中的分度传动链。

5. 空气侵入工作液体时, 会引起不均匀的跃进式的运动。

6. 当液压系统工作的时候, 管道的压缩和膨胀会使接头和密封振动而损坏。

7. 用作工作液体的矿物润滑油具有易燃性。

在合理的结构中上列缺点的影响在很大程度上可以降低而作用不大, 使其对于液压系统的工作没有现实意义。

2 液压装置的工作原理

液压装置由液压驱动机构, 液压传动机构, 操纵机构及辅助机构组成。

驱动机构由能量转换机构组成。驱动机构的第一部分是油泵, 它从电动机或机械驱动机构得到机械能, 而将这机械能转换成工作液体的位能及动能。

油泵将工作液体压入(供至)驱动机构的第二部分, 即油动机。油动机一面接受液体的位能及动能, 一面将此能量转换成机械能而驱动机床的工作机构。

液压驱动及传动机构可分为动力式（或透平式）及静力式两类；动力式驱动机构基本上系利用工作液流的动能。

这类液压驱动及传动机构（液体连接器及液体变压器）在大功率及约50公尺/秒大的圆周速度下使用是很经济的，但当载荷增加时速度的急剧降落及其调节和变向的困难使其应用范围受到限制。

静力式液压驱动机构则利用油泵所压入的液体的位能（压力能）。容积式的静力液压驱动机构能满足机床的速度和送进性能的要求，其结构紧凑，调节和变向均不困难。因此在金属切削机床的结构中仅应用容积式静力液压驱动机构，如油缸与活塞和活塞杆，油缸与活栓，叶片式，齿轮式，螺纹式的及活栓式的油泵和油动机等。

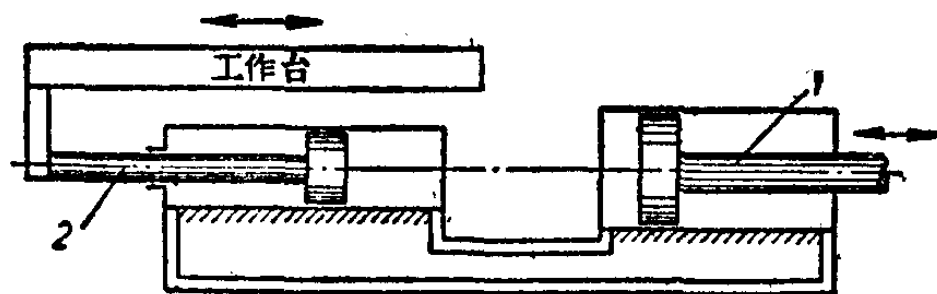


圖 1

圖 1 为最简单的活塞式非旋转的液压驱动机构的简图。其右部为一油泵，活塞 1 就在该油泵的油缸中移动。左部为一油动机，

其结构与油泵相似。油泵的活塞杆推动活塞，油即从油缸经过油管而被压入油动机的油缸。油缸 2 中的油使活塞 2 受到压力并按需要的速度使 2 带着活塞杆移动，活塞杆就将运动传递给与其刚性相连的机床工作台。在上例中，油泵的往复直线运动转换成了油动机的同样的运动。

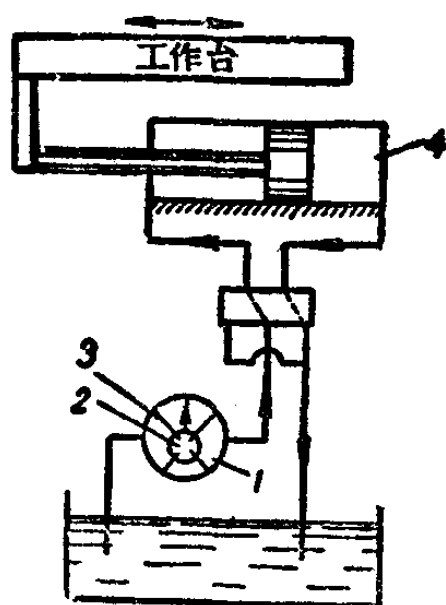


圖 2

圖 2 所示为组合式液压驱动机构，其中油泵 1 为旋转叶片式的，而

油动机 4 与圖 1 所示的油动机相似，为非旋轉活塞式的。油泵的轉子 2 在軸上順时鐘方向旋轉，靠叶片 3 將油由油泵的左腔推向右腔，經過油管輸入油动机的油缸。如此，油泵的旋轉运动即轉变为油动机的往复直綫运动。

圖 3 所示为全部旋轉式的液压驅動機構，其中油泵 1 及油动机 2 均为旋轉叶片式的。驅動機構中油泵的工作情形与圖 2 所示的油泵相似。油泵压出的油經過油管进入油动机，在其叶片上产生压力，驅使其轉子旋轉。因此油泵的旋轉运动轉变成了油动机的旋轉运动。

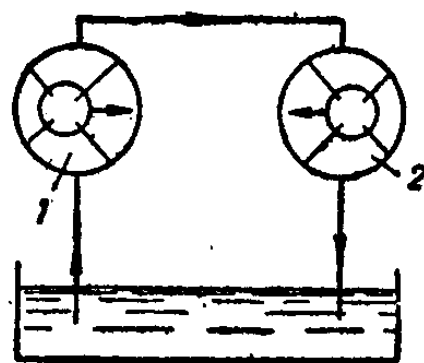


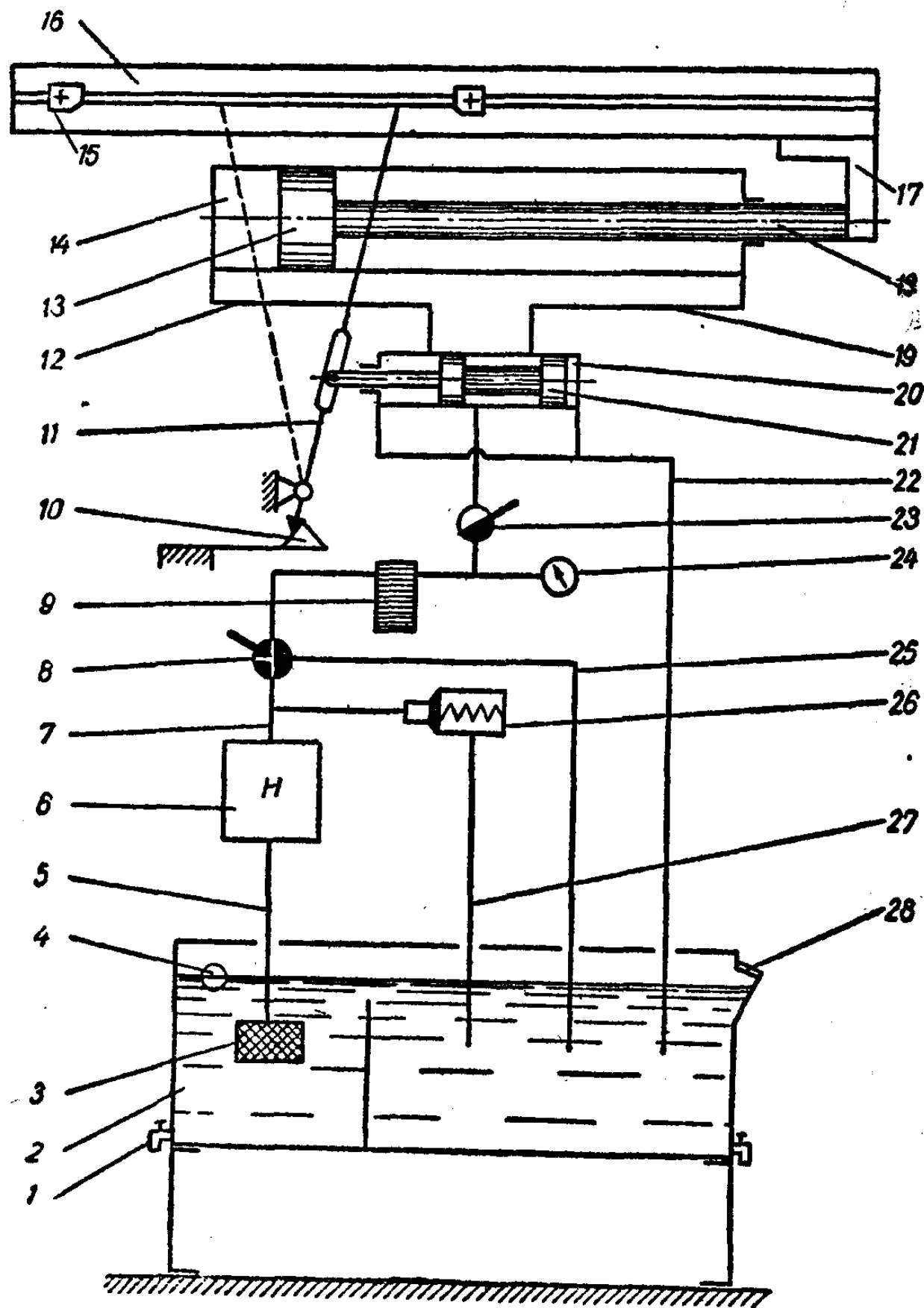
圖 3

金屬切削机床中所应用的液压系統是由很多機構組成的綜合設備，其中除油泵及油动机以外，还包括工作液体的輸送設備（管道），操縱機構（油閥，滑閥，开关，儲油器）及輔助裝置（油池，濾油器）。

圖 4 所示为机床上用于工作台往复直綫运动的典型液压傳动設備簡圖。

工作液体經網子 28 注入油池 2，注到油标 4 的指示綫上，液体借油泵 6 由網狀濾油器 3 及导管 5 吸入，再由油泵經過高压导管 7 及啓动閥 8 流入液压系統。把三通閥 8 轉动，使高压导管即由管子 25 与油池接通，液压系統即可切斷。当液压系統接通时，液体經過濾油器 9，节制閥 23 及分配滑閥 21 进入工作油缸 14。濾油器 9 用以清除液体中侵入的有害雜質。节制閥 23 控制液体流入油缸的通道，以調节活塞 13，活塞杆 18 及机床工作台 16 的运动速度。节制閥 23 只是在油泵 6 为輸送最大定量液体之非調节式油泵时才采用。油泵所供給的油除一部分通过节制閥外，其剩余部分經溢流閥 26 及管道 27 排入油池。油閥 26 也能保护液压系統，以免油压过高而損坏。油路中的压力靠压力表 24 測出。滑閥 21 在圖示位置时，液体經過滑閥的环形腔及管道 19 而进入工作油缸 14 的右

室, 施压于活塞 13 的右端而使活塞、活塞杆 18 及工作台 16 向左移动。工作油缸左室的液体则经过管道 12, 滑阀筒 20 及排油管 22 排入油池。液体在油池的右边稍加滞留, 以便冷却及排除浸入液体中的空气, 然后流向左边供油泵重新吸入。推杆 11 用以推动滑阀 21 而



改变工作台的运动方向。滑閥在左边位置时,液体被压入工作油缸的左室而使活塞及工作台向右移动。工作油缸右室的液体即由管道19,滑閥筒 20 及管道 22 排入油池。

擋塊 15 用以自动轉換工作台的运动方向,它可按照所需行程長度固定在工作台的槽內。在行程的末端擋塊 15 轉动推杆11而轉換滑閥 21 的位置。帶棱形体的彈簧 10 的用途是当轉动推杆 11 时把 11 引至其極端位置,使滑閥 21 移动所需距离。节門 1 用以定期清除油池。

液压系統工作时,工作液体的溫度不断改变,即液体發热及冷却。由于油泵吸油部分形成真空,油即由吸油管吸入。在压入油管中的油則具有高压。

第二章 液压系統中的工作液体

1 工作液体的選擇

液压系統中的液体要經受在很大範圍內改變的壓力、速度及溫度。在這種工作條件下，液体必須有較高的液膜強度，以免在摩擦表面間有很大壓力的液壓機構的零件（如齒輪式油泵的輪齒及葉片式油泵的葉片）會由於液膜被破壞而引起摩擦力的急劇增加以致磨損。

液壓系統中所用的工作液体必須滿足下列要求：

1. 在工作溫度下不蒸發及不包含可以蒸發的混合物。
2. 不包含，不吸收及不散發大量空氣和不起泡沫。

為了減少液体所吸收的空氣，必須限制它與空氣接觸的表面。排油管出口必須伸入油池液体表面以下。與空氣接觸不但使液体吸收空氣，同時也加快液体的氧化。為防止空氣進入管道，吸入管道中的連接處必須可靠地密封，因在該管道中將形成真空。管道的分布需避免密閉空氣（空氣袋）的形成，否則工作液流難於從此處把空氣擠跑。

空氣袋的形成使工作機構發生顫動。

3. 不侵蝕機件及破壞密封裝置。
4. 液体須具有很好的潤滑性及化學穩定性，當系統內溫度和壓力無論怎樣改變時，都須保持其原有性質并須具有很高的液膜強度。
5. 液体中包含的機械混合物能使管道及傳動機構堵塞，破壞液壓機構的正常工作，故其含量必須最少。
6. 液体須具有對所要求工作條件最適宜的粘度，以免粘度小而產生過大的漏損，或粘度過大而产生過大的摩擦損失。在液流溫

度变化範圍內,其粘度的改变須最小。

7. 液体必須滿足火灾方面的保安条件。

用精制的矿物油作工作液体为最合适。建議采用当溫度改变时粘度改变較小的这一类油,这样能保證工作时粘度較高的稳定性。油中須無杂质及鹼性、酸性和瀝青的化合物。为了避免油的汽化,工作用油必須有相当高的發火溫度。矿物油开始明显地汽化的溫度在其發火溫度以下約 80° 。發火及燃燒溫度低表示有額外的易燃杂质的存在,也就說明油的易引起火灾的危險性。为了避免液压机构的工作被破坏,油的凝固溫度必須低,这一点在气候寒冷的条件下工作时尤为重要。重要的是要知道油在液压机构中还能保持一定流动性的最低溫度。

当油的相对漏損容积很大时,即在高溫、高压及密封处的間隙很大时(例如由于摩擦部分的磨損),而运动的速度不大,即每分鐘所需的工作油量很小,則由于漏油而損失的数值比例就很大,因此在这种情况下应采用粘度較高的油。当轉速或运动速度很高,因此油流速度也很高时,摩擦損失急剧增加。在这情况下若用粘度很大的油就可能破坏油泵的吸油作用。故在高速的驅動中,虽然漏損較大,也須采用粘度較小的油。采用粘度較大的油可能会把零件卡住,例如在叶片式油泵內当把叶片推向周緣的离心力不能克服很大的粘滯摩擦力时,叶片就被卡住。

除开一般在液压驅動中应用的标准油类(表1)以外,也采用着混合的油,它們能保證获得最适宜的粘度,也可另加其他物質以增加油膜强度(氯化芳香族化合物)和降低凝固溫度。

在航空方面,液压机构处在極低的溫度下,采用着凝固溫度低至 -50° 的特种液体。这种液体的成分除包含潤滑油外,还有甘油,酒精及純淨的煤油。

近来在精密的液压裝置中开始采用有机氧化硅的同質异重体的特殊液体来代替油。这种液体的粘度很高,其特点是稳定性及化学的非化合性好。它制有各种牌号,粘度在 25°C 时为由0.65至

表 1 机床液压传动中所用油类的特性

質 量 指 标	凡士林油 ГОСТ 1665-42	MBП号 凡士林油 ГОСТ 1805-42	变压器油 ГОСТ 982-43	二号錠子油 ГОСТ 1837-42	三号錠子油 ГОСТ 1837-42	Л号透平油 ГОСТ 34-47	Л号机器油 ГОСТ 1707-42	C号机器油 ГОСТ 1707-42	二号汽缸油 ГОСТ 1841-42
比重	(0.86~ 0.89)	(0.86~ 0.89)	(0.896)	(0.876~ 0.891)	(0.881~ 0.901)	(0.901)	(0.886~ 0.916)	(0.886~ 0.926)	(0.886~ 0.916)
發火温度(根据Бренкен) (度), 不低于	—	—	—	165	170	180	180	190	215
發火温度(根据Мартенс- Пенский)(度), 不低于	125	120	135	—	—	—	—	—	—
凝固温度(度), 不高于	-20	-60	-45	-30	-20	-15	-15	-10	+5
粘度, 当温度为20°时: a) 动力粘度(分淘) б) 相对粘度(°E)	— —	— —	<37.3 <5	— —	— —	— —	— —	— —	— —
粘度, 当温度为50°时: a) 动力粘度(分淘) б) 相对粘度(°E)	5.0~8.5 1.4~1.7	6.3~8.5 1.5~1.7	<9.6 <1.8	11.8~14 2~2.2	19~23 2.8~3.2	20~23 2.9~3.2	29~33 4~4.5	41~53 5.5~7	— —
粘度, 当温度为100°时: a) 动力粘度(分淘) б) 相对粘度(°E)	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	9.6~14.0 1.8~2.2
酸值(每克油中KOH的毫 克数), 不高于	0.04	0.14	0.05	0.14	0.14	0.04	0.2	0.35	0.3
灰分(%), 不高于	0.005	0.005	0.005	0.007	0.007	0.005	0.007	0.007	0.03
机械混合物	無	—	—	—	—	無	0.007	0.007	0.007
水溶性酸及鹼	無	無	無	無	無	無	無	無	無