

GUOJIA ZHONGDENG ZHIYE JIAOYU GAIGE FAZHAN SHIFAN XUEXIAO LISHI YITIHUA JIAOCAI JIAGONG ZHIZAO LEI

国家中等职业教育改革发展示范学校理实一体化教材——加工制造类

石磊 董铮 主编

液压与 液力传动

YEYA YU
YELI CHUANDONG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

改革发展示范学校理实一体化教材——加工制造类

液压与液力传动

主 编 石 磊 董 铮

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

液压与液力传动 / 石磊, 董铮主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2013.5

国家中等职业教育改革发展示范学校理实一体化教材·
加工制造类

ISBN 978-7-5643-2301-1

I. ①液… II. ①石… ②董… III. ①液压传动—中等专业学校—教材②液力传动—中等专业学校—教材
IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 081590 号

国家中等职业教育改革发展示范学校理实一体化教材——加工制造类

液压与液力传动

主编 石磊 董铮

责任编辑	李芳芳
特邀编辑	李伟
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都勤德印务有限公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	10.25
字 数	253 千字
版 次	2013 年 5 月第 1 版
印 次	2013 年 5 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2301-1
定 价	20.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是为工程机械运用与维修专业的核心课程“液压与液力传动”编写的校本教材。

“任务驱动”教学法的理论基础是教育家陶行知先生所提倡的“在学中做，在做中学”的教育理论。它是一种以任务驱动为主要形式，将职业岗位典型实践项目贯穿于教学的始终，用任务进行新知识的引入。强调能力本位和知识的“必需，够用”原则，注重知识、技能传授与职业岗位实践项目紧密结合，让学生学有所用，学以致用。

本书按照“任务驱动、实践主导、能力拓展、教学做一体”的编写思路，侧重培养学生的基本技能。本书以工程机械液压系统维修生产过程中既典型又易实施教学组织的工作情境为基础，通过任务引领来驱动教学活动，全书共 16 个工作任务，每个工作任务由任务目的、主要知识点和工作任务书三部分组成。学生以小组学习方式完成工作过程和工作任务书。任务的实施可以采用六步教学法，按照明确任务、制订计划、做出决策、实施、控制和评价反馈六个步骤组织完成。

本书将枯燥难懂的液压传动的理论、原理、概念融入工作过程中，强调学生“做中学”，使学生在主动学习和有兴趣学习的过程中逐步具备工程机械液压系统常见故障维修方面的基本知识和基本技能，并逐步培养学生逻辑思维的能力、分析问题的能力和解决问题的能力。

本书由石磊、董铮两位老师编写，由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2013 年 3 月

目 录

工作任务一：了解液压千斤顶的基本结构和原理	1
工作任务二：认识了解液压油	8
工作任务三：学习了解流体力学基础知识	18
工作任务四：学习了解液压系统的图形符号	25
工作任务五：拆装了解液压泵	40
工作任务六：在液压原理实验台上完成液压缸、 液压马达的结构原理实验	62
工作任务七：拆装了解方向控制阀	70
工作任务八：拆装了解压力控制阀	77
工作任务九：拆装了解流量控制阀及其他液压辅助元件	83
工作任务十：学习分析液压系统速度控制回路	93
工作任务十一：学习分析液压系统压力控制回路	102
工作任务十二：学习分析液压系统方向控制回路	113
工作任务十三：学习分析液压系统多缸控制回路	118
工作任务十四：学习液压系统故障分析判断方法	125
工作任务十五：学习分析挖掘机液压系统故障	132
工作任务十六：学习了解液力传动元件结构原理	144
参考文献	157

工作任务一：了解液压千斤顶的基本结构和原理

一、任务目的

通过使用、拆装液压千斤顶来了解、掌握液压传动的基本原理、基本特点和液压系统的基本结构。

任务结束时各小组完成其任务书规定的任务。

二、主要知识点

1. 液压千斤顶结构

液压千斤顶由外壳、大活塞、小活塞、小活塞的进油排油单向阀、手动截止阀、杠杆扳手、油箱等组成，如图 1.1 所示。

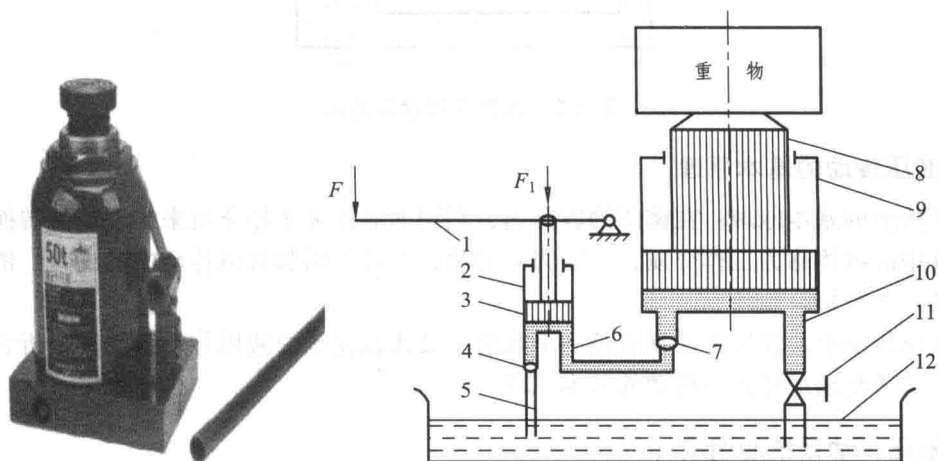


图 1.1 液压千斤顶结构及工作原理图

1—杠杆扳手；2—小油缸；3—小活塞；4，7—单向阀；5—吸油管；
6，10—管道；8—大活塞；9—大油缸；11—截止阀；12—油箱

2. 液压千斤顶工作原理

液压千斤顶工作原理是扳手往上走时带动小活塞向上，油箱里的油通过油管和单向阀门被吸进小活塞下部，扳手往下压时带动小活塞向下，油箱与小活塞下部油路被单向阀门堵上，

小活塞下部的油通过内部油路和单向阀门被压进大活塞下部,大活塞在油压作用下向外推出。手对扳手的作用力通过杠杆作用使小活塞对油的作用力会按杠杆的倍数增大,大活塞面积又是小活塞面积的数倍,根据帕斯卡原理可知,大活塞面积与小活塞面积的比值就是大活塞产生的推力比小活塞受到推力的放大倍数。例如,手上的力是 200 N,通过扳手杠杆到小活塞上增大了 15 倍,大活塞面积是小活塞面积的 15 倍,则大活塞(工作时伸出的活动部分)的推力就是手上力的 225($15 \times 15 = 225$)倍,即大活塞的推力就是 $200 \times 225 = 45\,000$ (N),这就是液压千斤顶的工作原理。当大活塞需要缩回时,手动打开手动截止阀,大活塞内的油在大活塞上的重物作用下被挤回油箱。

3. 帕斯卡原理

帕斯卡原理:在密闭环境中,向液体施加一个压力(单位面积的作用力),这个液体会向各个方向传递这个压力,传到液体各处的压力的大小不变。

如图 1.2 所示, F_1 是作用到活塞 A_1 上的外力, F_2 是液体对活塞 A_2 的作用力, S_1 、 S_2 分别是 A_1 、 A_2 的面积,则

$$P = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

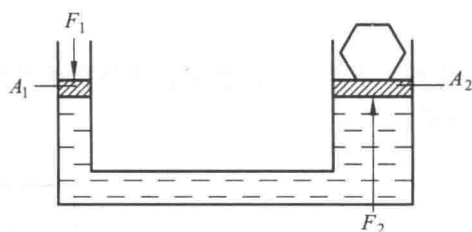


图 1.2 帕斯卡原理示意图

4. 液压传动的基本原理

液压传动的原理:在密闭的容器内,利用油液作为工作介质来实现能量转换和动力传递。其中的液体称为工作介质,一般为矿物油,它的作用和机械传动中的皮带、链条和齿轮等传动元件类似。

在液压传动中,液压千斤顶就是一个既简单又比较完整的液压传动系统,分析它的工作过程,可以清楚地了解液压传动的原理。

5. 液压传动系统的组成

液压系统主要由动力元件(油泵)、执行元件(油缸或液压马达)、控制元件(各种阀)、辅助元件和工作介质五部分组成。

(1) 动力元件(油泵)。它的作用是把原动机的机械能转换成液体的液压能,它是液压传动中的动力部分。

(2) 执行元件(油缸或液压马达)。它是将液体的液压能转换成机械能。其中,油缸作直线运动,马达作旋转运动。

(3) 控制元件。包括压力阀、流量阀和方向阀等。它们的作用是根据需要无级调节执行

元件的工作速度，并对液压系统中工作液体的压力、流量和流向进行调节控制。

(4) 辅助元件。除上述三部分以外的其他元件，包括压力表、滤油器、蓄能装置、冷却器、管件及油箱等，它们同样十分重要。

(5) 工作介质。工作介质是指各类液压传动中的液压油或乳化液，它经过油泵和执行元件实现能量转换。

6. 液压传动的优缺点

液压传动的优点：

(1) 体积小、质量轻，因此惯性力较小，当突然过载或停车时，不会发生大的冲击。

(2) 能在给定范围内平稳地自动调节执行元件的工作速度，并可实现无级调速。

(3) 换向容易，在不改变电机旋转方向的情况下，可以较方便地实现工作机构旋转和直线往复运动方向的转换。

(4) 液压泵和液压马达之间用油管连接，在空间布置上彼此不受严格限制。

(5) 由于采用油液为工作介质，元件的相对运动表面能自行润滑，磨损小，使用寿命长。

(6) 操纵控制简便，自动化程度高。

(7) 容易实现过载保护。

液压传动的缺点：

(1) 使用液压传动对维护工作的要求高，工作油要始终保持清洁。

(2) 对液压元件制造精度要求高，工艺复杂，成本较高。

(3) 液压系统故障维修较复杂，且需有较高的技术水平。

(4) 用油液作为工作介质，在工作面存在火灾隐患。

(5) 传动效率低。

三、工作任务书

学生按 3~5 人为一组，每组一份工作任务书，每组按工作任务书领取一个液压千斤顶及相关工具进行工作。

【任务书一】

班级组别		小组成员	
任务描述	使用、拆装、维修液压千斤顶，了解、掌握液压传动的基本原理、基本特点和液压系统的基本结构		
计划课时	6个课时	任务执行时间	
任务过程	1. 教师讲授，引导学生阅读并理解工作任务一的教材和任务书。（75分钟） 2. 小组成员分工并准备执行工作任务。（5分钟） 3. 动手：使用、拆装、维修液压千斤顶。（60分钟） 4. 小组讨论并书面回答下列问题。（60分钟） （1）图 1.1 中液压千斤顶的哪部分是动力元件？ 答： （2）液压千斤顶上无重物时操纵液压千斤顶，其内部的油压会是多大？ 答： （3）小活塞的吸油单向阀密封不严时会出现什么状况？ 答： （4）大活塞的工作速度由什么决定？ 答： 5. 展示工作成果、学生互评、教师点评。（35分钟） 各组派 1~2 人上台回答 1 个书面问题，其他小组互评，教师最后点评。 6. 整理设备工具、清洁工作场地。（5分钟）		

【任务书二】

班级组别		小组成员	
任务描述	使用、拆装、维修液压千斤顶，认识、理解液压传动的基本原理、基本特点和液压系统的基本结构		
计划课时	6个课时	任务执行时间	
任务过程	1. 教师讲授，引导学生阅读并理解工作任务一的教材和任务书。(75分钟) 2. 小组成员分工并准备执行工作任务。(5分钟) 3. 动手：使用、拆装、维修液压千斤顶。(60分钟) 4. 小组讨论并书面回答下列问题。(60分钟) (1) 图 1.1 中液压千斤顶的哪部分是执行元件？ 答： (2) 液压千斤顶向上顶起重物时，其内部的油压由什么决定？ 答： (3) 小活塞的排油单向阀密封不严时会出现什么状况？ 答： (4) 液压千斤顶工作时其内部的油液是如何流动的？ 答： 5. 展示工作成果、学生互评、教师点评。(35分钟) 各组派 1~2 人上台回答 1 个书面问题，其他小组互评，教师最后点评。 6. 整理设备工具、清洁工作场地。(5分钟)		

【任务书三】

班级组别		小组成员	
任务描述	使用、拆装、维修液压千斤顶，认识、理解液压传动的基本原理、基本特点和液压系统的基本结构		
计划课时	6个课时	任务执行时间	
任务过程	1. 教师讲授，引导学生阅读并理解工作任务一的教材和任务书。(75分钟) 2. 小组成员分工并准备执行工作任务。(5分钟) 3. 动手：使用、拆装、维修液压千斤顶。(60分钟) 4. 小组讨论并书面回答下列问题。(60分钟) (1) 图 1.1 中液压千斤顶的哪部分是控制元件？ 答： (2) 液压千斤顶能否操纵大活塞来驱动小活塞工作，为什么？ 答： (3) 用液压千斤顶顶升重物时，若压下小活塞，重物就上升，而抬起小活塞时，重物就下落，这是什么原因？ 答： (4) 液压千斤顶中有哪些部分要精密加工？ 答： 5. 展示工作成果、学生互评、教师点评。(35分钟) 各组派 1~2 人上台回答 1 个书面问题，其他小组互评，教师最后点评。 6. 整理设备工具、清洁工作场地。(5分钟)		

【任务书四】

班级组别		小组成员	
任务描述	使用、拆装、维修液压千斤顶，认识、理解液压传动的基本原理、基本特点和液压系统的基本结构		
计划课时	6 个课时	任务执行时间	
任务过程	1. 教师讲授，引导学生阅读并理解工作任务一的教材和任务书。（75 分钟） 2. 小组成员分工并准备执行工作任务。（5 分钟） 3. 动手：使用、拆装、维修液压千斤顶。（60 分钟） 4. 小组讨论并书面回答下列问题。（60 分钟） （1）图 1.1 中液压千斤顶的哪部分是辅助元件？ 答： （2）液压千斤顶中哪些部件有密封件？ 答： （3）液压千斤顶顶不起重物时，会有哪些原因？ 答： （4）液压千斤顶如超载使用可能会出现什么结果？ 答： 5. 展示工作成果、学生互评、教师点评。（35 分钟） 各组派 1~2 人上台回答 1 个书面问题，其他小组互评，教师最后点评。 6. 整理设备工具、清洁工作场地。（5 分钟）		

工作任务二：认识了解液压油

一、任务目的

- (1) 认识了解液压油的特性。
- (2) 能正确选择液压油的牌号。
- (3) 能正确使用液压油。

二、主要知识点

1. 液压油的主要物理性质

(1) 密度。单位体积液体的质量称为该液体的密度。

密度是液体的一个重要的物理量。随着温度或压力的变化，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 900 kg/m^3 。

(2) 可压缩性。液体受压力的作用而发生体积减小的变化称为液体的可压缩性。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。因此，在液压系统中尽量减少油液中混入的气体及其他挥发物质（如汽油、煤油、乙醇和苯等）的含量。

可压缩性：动态表现明显，静态或稳态可不考虑。

(3) 黏性。液体在外力作用下流动时，液体分子间的内聚力会阻碍其产生相对运动，即在液体的分子间产生了内摩擦力。这种在流动的液体内部产生的摩擦力的性质，称为液体黏性。黏性是液体的重要物理特性，也是选择液压油的依据。

液体的黏度是用来衡量黏性大小的量。黏度大，液层间内摩擦力就大，油液就稠；反之，油液就稀。常用的黏度有三种，即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

动力黏度是指流体单位接触面积上的内摩擦力与垂直运动方向上的流速变化率的比值。

单位： $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

运动黏度是指动力黏度与同温同压下流体的密度的比值。单位： m^2/s 。

相对黏度又称条件黏度，它是采用特定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。

例如，中国、德国及苏联等国家采用恩氏黏度（ $^{\circ}E$ ），美国采用赛氏黏度（ SSU ），英国采用雷氏黏度（ R ）。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定，如图 2.1 所示，其值为

$$^{\circ}E = t_1 / t_2$$

式中 t_1 ——油流出的时间；

t_2 —— 20°C 蒸馏水流出时间。

通常以 20°C 、 50°C 、 100°C 作为标准测定温度，记为 $^{\circ}E_{20}$ 、 $^{\circ}E_{50}$ 、 $^{\circ}E_{100}$ 。

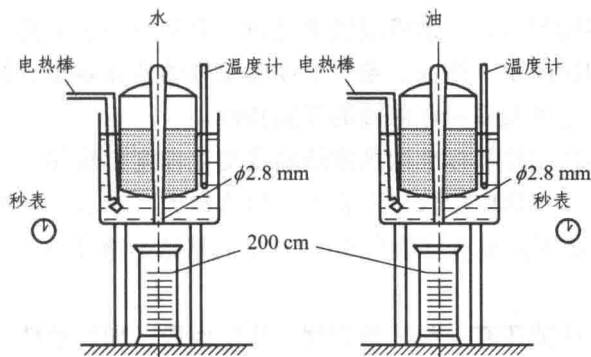


图 2.1 恩式黏度计

黏度与压力的关系如图 2.2 所示，黏度随着压力的升高而变大。黏度与温度的关系如图 2.3 所示。

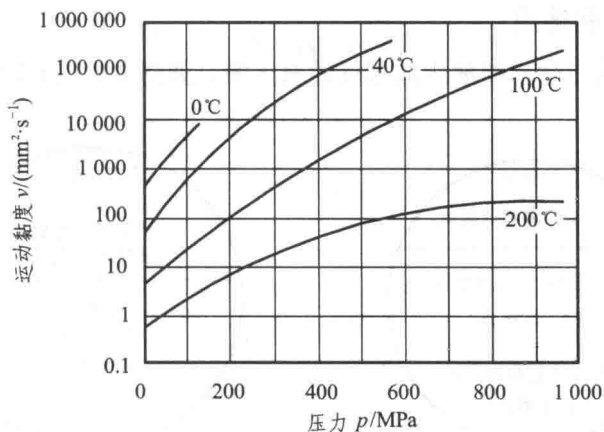


图 2.2 黏度与压力的关系

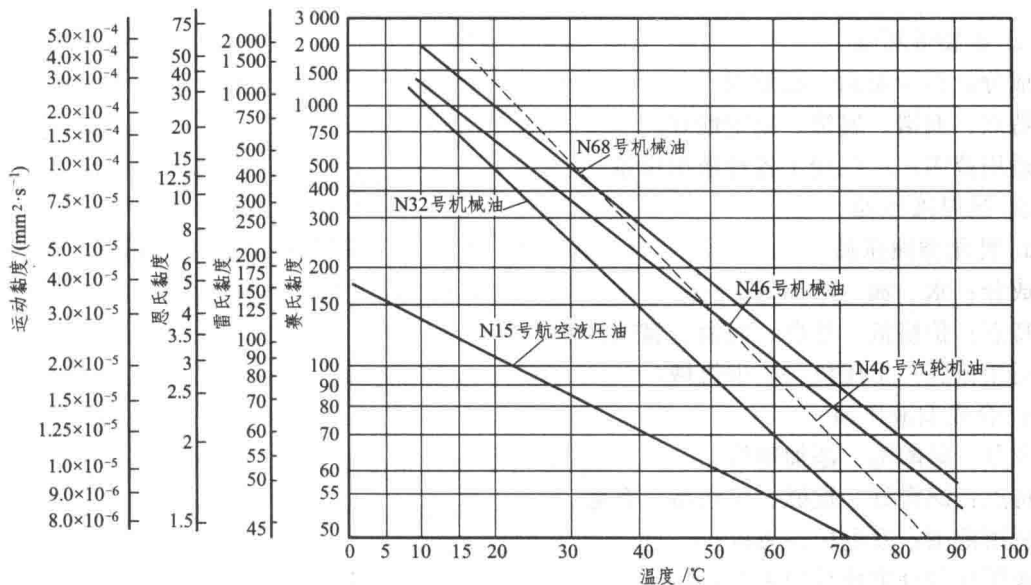


图 2.3 黏温特性图

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，这种关系叫作油液的黏温特性。

黏度指数VI：表示被试油和标准油黏度随温度变化程度比较的相对值。

油液的黏温特性可以用黏度指数VI来表示，VI值越大，表示油液随温度的变化率越小，即黏温特性越好。一般液压油要求VI值在 90 以上，而精致的液压油及有添加剂的液压油，其值可以大于 100。

（4）其他特性。液压油还有一些其他物理、化学性质，如抗燃性、抗氧化性、抗凝性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性、导热性、稳定性以及相容性等，这些性质对液压系统的工作性能有重要影响。对于不同品种的液压油，这些性质的指标是不同的，具体应用时可以查看油类产品手册。

2. 液压油的种类和选用

（1）液压油的种类包括矿物液压油和抗燃液压油，如图 2.4、图 2.5 所示。



图 2.4 矿物液压油



图 2.5 抗燃液压油

① 矿物液压油。

成分：石油制品、添加剂。

特点：润滑、腐蚀、稳定性好。

适用范围：广泛用于各种液压设备。

② 抗燃液压油。

a. 乳化型液压油。

成分：水、油、添加剂。

特点：价格低、难燃、润滑、腐蚀性差。

适用范围：水压机、矿山机械。

b. 合成型液压油。

成分：磷酸酯、添加剂等。

特点：润滑好、抗燃、价格高、有毒。

适用范围：发电厂、飞机。

液压油的分类代号如表 2.1 所示。

表 2.1 液压油的分类代号

矿物液压油		抗燃液压油	
HG	液压-导轨油	HFAE	水包油乳化液
HL	抗氧防锈液压油	HFB	油包水乳化液
HM	抗磨液压油	HFC	水-乙二醇液
HV	用于寒区的低温液压油	HFDR	磷酸酯液
HS	用于严寒区的低凝液压油	HFDU	多元酯液

液压油的黏度分类（液压油的牌号是用油品的 40 °C 运动黏度来表示的）如表 2.2 所示。

表 2.2 液压油的黏度分类

GB3141 黏度级	40 °C 运动黏度/(mm ² · s ⁻¹)	ISO 黏度级
15	13.5 ~ 16.5	VG15
22	19.8 ~ 24.2	VG22
32	28.8 ~ 35.2	VG32
46	41.4 ~ 50.6	VG46
68	61.2 ~ 74.8	VG68
100	90.0 ~ 110.0	VG100

液压油的产品命名：

产品名称 = 产品分类名称 + 黏度分类等级

例如，HM46 = HM(抗磨液压油) + 46[40 °C 运动黏度为 $46 \times (1 \pm 10\%) \text{ mm}^2/\text{s}$]。

HV68 = HV(低温抗磨液压油) + 68[40 °C 运动黏度为 $68 \times (1 \pm 10\%) \text{ mm}^2/\text{s}$]。

常用种类：

HM 抗磨液压油是在防锈、抗氧液压油（HL）基础上发展的，具有良好的防锈、抗氧化性，突出抗磨性。

HV 主要用于寒区，一般环境温度不低于 - 30 °C。

HS 主要用于严寒区，一般环境温度不低于 - 40 °C。

HV、HS 具有良好的抗磨性、低温流动性、低温泵送性、剪切安定性等特点。

（2）液压油的选用。选择液压油首先要考虑的是黏度问题。在一定条件下，选用的油液

黏度太高或太低都会影响系统的正常工作。黏度高的油液流动时产生的阻力较大，克服阻力所消耗的功率较大，而且功率损耗又将转换成热量使油温上升。黏度太低，会使泄漏量加大，使系统的容积效率下降。

在选择液压油时要根据具体情况或系统的要求来选用合适黏度的油液。选择时一般考虑以下几个方面：

① 液压系统的工作压力。工作压力较高的液压系统宜选用黏度较大的液压油，以减少系统泄漏；反之，可选用黏度较小的液压油。

② 环境温度。环境温度较高时宜选用黏度较高的液压油。

③ 运动速度。液压系统执行元件运动速度较高时，为减小液流功率损失，宜选用黏度较低的液压油。

④ 液压泵的类型。在液压系统的所有元件中，以液压泵对液压油的性能最为敏感，因为泵内零件的运动速度很高，承受的压力较大，润滑要求苛刻，温升高。因此，常根据液压泵的类型及要求来选择液压油的黏度。液压泵用油黏度范围及推荐用油如表 2.3 所示。

表 2.3 各类液压泵适合的黏度范围及推荐用油

液压泵	适合的黏度范围			推荐用油
叶片泵	压力<7 MPa	温度/°C	5~40	N32~N46 HL 油
			40~80	N68~N100 HL 油
	压力>7 MPa	温度/°C	5~40	N32~N46 HM 油
			40~80	N68~N100 HM 油
径向柱塞泵	温度/°C	5~40		N32~N46 HM 油
		40~80		N68~N100 HM 油
轴向柱塞泵	压力<30 MPa	温度/°C	5~40	N32~N68 HL 油
			40~80	N68~N100 HL 油
	压力>30 MPa	温度/°C	5~40	N32~N68 HM 油
			40~80	N68~N100 HM 油
齿轮泵	温度/°C	5~40		N32~N68 HM 油
		40~80		N100 HM 油
螺杆泵	温度/°C	5~40		N32~N46 HM 油
		40~80		N46~N68 HM 油