

TH-62
3
3.34

机械工程手册

第 34 篇 液压传动

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会

537-67



机械工业出版社

本篇以系统设计为重点,总结了国内的实践经验,概括了机械工业中广泛应用的部分基本回路和同步回路,并介绍了一些典型实例,如组合机床、磨床、液压机、挖掘机等。对液压元件则着重于介绍性能和选用。

第34篇 液 压 传 动

(试 用 本)

第一机械工业部机械研究院机电研究所 主编
广 州 机 床 研 究 所

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ ·印张 10 ·字数 277 千字

1977年9月北京第一版·1977年9月北京第一次印刷

印数 000,001—130,000 ·定价 0.76 元

*

统一书号: 15033·4468

毛主席语录

人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完结。在有阶级存在的社会内，阶级斗争不会完结。在无阶级存在的社会内，新与旧、正确与错误之间的斗争永远不会完结。在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

编 辑 说 明

(一) 我国自建国以来,特别是无产阶级文化大革命以来,机械工业在伟大的领袖和导师毛泽东主席的无产阶级革命路线指引下,坚持政治挂帅,以阶级斗争为纲,贯彻“**独立自主、自力更生**”的方针,取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学技术方面的经验,加强机械工业科学技术的基础建设,适应实现“四个现代化”的需要,我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》,使出版工作更好地为无产阶级政治服务,为工农兵服务,为社会主义服务。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用,也可供教学及其他有关人员参考。《手册》在内容和表达方式上,力求做到深入浅出,简明扼要,直观易懂,归类便查,以便广大机电工人使用,有利于工人阶级技术队伍的发展和壮大。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书,着重介绍各专业的基础理论,常用计算公式,数据、资料,关键问题以及发展趋向。在编写中,力求做到立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点。读者在综合研究和处理技术问题时,《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成,构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分,共七十九篇;《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分,共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区的科技交流部门, 为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中, 广泛征求广大机电工人的意见, 坚持实行工人、技术人员和领导干部三结合的原则, 发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面, 广泛征求意见, 先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验, 试用本在内容和形式方面, 一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证, 提出批评和建议, 以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本书是《机械工程手册》第34篇, 由第一机械工业部机械研究院机电研究所、广州机床研究所主编, 参加编写的有哈尔滨工业大学、北京工业学院、北京起重机厂、天津工程机械研究所、大连组合机床研究所、济南铸锻机械研究所、西安交通大学、浙江大学、华中工学院、杭州机床厂、榆次液压件厂、第一汽车制造厂、上海机床厂、常德建筑机械研究所、上海建筑机械厂、第二汽车制造厂、哈尔滨船舶工程学院、广东工学院、北京冶金液压机械厂等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助, 在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

常用符号及单位

A ——面积 cm^2	q ——排量 ml/r
C_d ——流量系数	q_m ——马达排量 ml/r
C_v ——流速系数	R ——外负载 kgf
e ——偏心距 cm	v ——流速 cm/s
f ——摩擦系数	E ——液体弹性模量 kgf/cm^2
g ——重力加速度 cm/s^2	γ ——重度 kgf/m^3
N_{ef} ——有效功率 kW	η_m ——机械效率 %
p_{inst} ——瞬时压力 kgf/cm^2	η_t ——总效率 %
p_n ——额定压力 kgf/cm^2	η_v ——容积效率 %
p_p ——泵的压力 kgf/cm^2	θ ——温度 $^{\circ}\text{C}$
Q_h ——热流量 kcal/h	μ ——动力粘度 $\text{kgf} \cdot \text{s/m}^2$
Q_n ——额定流量 l/min	ν ——运动粘度 $\text{m}^2/\text{s}, \text{cm}^2/\text{s}$
Q_p ——泵的流量 l/min	

目 录

编辑说明

常用符号及单位

第1章 概 述

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1 液压传动系统的特点和分类.....34-1 | 4 基础知识.....34-5 |
| 2 常用基础标准.....34-1 | 4.1 液流的压力损失.....34-5 |
| 3 液压油.....34-4 | 4.2 小孔和缝隙中的流动.....34-5 |
| 3.1 液压油的分类.....34-4 | 4.3 几个特殊问题.....34-7 |
| 3.2 液压油的粘度和粘温特性.....34-4 | 5 液压系统中常见的不利现象.....34-8 |
| 3.3 液压油的选用.....34-5 | |

第2章 液压泵与液压马达

- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| 1 分类、变量方式和参数计算.....34-10 | 3.4 叶片马达.....34-20 |
| 1.1 液压泵与液压马达的分类和
技术性能.....34-10 | 4 螺杆泵.....34-20 |
| 1.2 液压泵与液压马达的变量方式.....34-10 | 5 柱塞泵与柱塞马达.....34-21 |
| 1.3 常用计算公式.....34-12 | 5.1 阀配流式柱塞泵.....34-22 |
| 2 齿轮泵与齿轮马达.....34-13 | 5.2 径向柱塞泵.....34-22 |
| 2.1 外啮合齿轮泵.....34-13 | 5.3 轴向柱塞泵和马达.....34-23 |
| 2.2 内啮合齿轮泵.....34-14 | 6 钢球泵与钢球马达.....34-25 |
| 2.3 齿轮马达.....34-15 | 6.1 径向钢球泵与钢球马达.....34-25 |
| 3 叶片泵与叶片马达.....34-16 | 6.2 轴向钢球马达.....34-25 |
| 3.1 单作用叶片泵.....34-16 | 7 低速大扭矩液压马达.....34-25 |
| 3.2 双作用叶片泵.....34-19 | 7.1 径向柱塞式大扭矩液压马达.....34-27 |
| 3.3 高压叶片泵.....34-19 | 7.2 轴向柱塞式大扭矩液压马达.....34-30 |

第3章 液 压 缸

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 液压缸的分类及安装方式.....34-32 | 3 几种液压缸的基本参数和结构.....34-38 |
| 2 液压缸的设计与计算.....34-35 | 3.1 工程机械用液压缸.....34-38 |
| 2.1 设计步骤.....34-35 | 3.2 自卸汽车用液压缸.....34-39 |
| 2.2 结构设计.....34-35 | 3.3 摆动缸.....34-39 |
| 2.3 缓冲装置及其设计.....34-36 | |

第4章 液压控制阀

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 压力控制阀.....34-41 | 2.1 结构、工作原理及应用.....34-44 |
| 1.1 结构、工作原理及应用.....34-41 | 2.2 主要性能分析.....34-46 |
| 1.2 主要性能分析.....34-43 | 3 方向控制阀.....34-49 |
| 2 流量控制阀.....34-44 | 4 比例阀.....34-53 |

第5章 液压辅件

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| 1 滤油器 34-54 | 4 密封件 34-59 |
| 1.1 分类与特点 34-54 | 4.1 密封件的种类与结构形式 34-59 |
| 1.2 堵塞指示装置 34-54 | 4.2 O形密封圈 34-60 |
| 1.3 滤油器的使用 34-54 | 4.3 常用塑料密封件材料 34-61 |
| 2 油箱及冷却器 34-55 | 5 管道和管接头 34-62 |
| 2.1 油箱 34-55 | 5.1 管道 34-61 |
| 2.2 冷却器 34-56 | 5.2 管接头 34-63 |
| 3 蓄能器 34-57 | 6 压力继电器 34-64 |

第6章 基本回路

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1 调压回路 34-65 | 7 速度变换回路 34-69 |
| 2 减压回路 34-65 | 8 制动回路 34-70 |
| 3 增压回路 34-66 | 9 缓冲回路 34-71 |
| 4 卸载回路 34-66 | 10 换向回路 34-71 |
| 5 平衡与闭锁回路 34-67 | 11 周期运动回路 34-71 |
| 6 调速回路 34-67 | 12 顺序动作回路 34-72 |

第7章 液压传动系统的设计与计算

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 工况分析 34-73 | 4 液压系统的验算 34-86 |
| 2 液压系统方案的拟定 34-74 | 4.1 管路压力损失的验算 34-86 |
| 2.1 系统压力 34-74 | 4.2 发热温升的验算 34-88 |
| 2.2 主回路 34-74 | 4.3 液压冲击的验算 34-89 |
| 2.3 系统设计中的其他问题 34-80 | 5 绘制液压系统图和装配图 34-90 |
| 3 液压系统的基本计算 34-81 | 5.1 液压系统图 34-90 |
| 3.1 计算液压缸尺寸或液压马达排量 34-81 | 5.2 装配图 34-90 |
| 3.2 计算液压执行器所需流量 34-83 | 6 液压系统设计计算举例 34-90 |
| 3.3 作出液压执行器工况图 34-83 | 6.1 确定外负载, 计算缸的尺寸 34-90 |
| 3.4 选定液压泵的规格 34-84 | 6.2 拟定系统方案, 作缸的工况图 34-91 |
| 3.5 确定驱动泵的电机功率 34-84 | 6.3 选定液压元件规格, 计算驱动功率 34-93 |
| 3.6 选择控制阀 34-85 | 6.4 确定管道尺寸 34-93 |
| 3.7 确定管道尺寸 34-85 | 6.5 确定油箱容量 34-94 |
| 3.8 油箱容量 34-86 | 6.6 液压系统发热和温升的验算 34-94 |

第8章 以速度变换为主的系统——组合机床液压传动系统

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1 工况特点及对液压系统的要求 34-95 | 2.4 快进转工进的控制方法 34-98 |
| 1.1 进给运动的工作循环及参数 34-95 | 2.5 行程终点的控制方法 34-98 |
| 1.2 辅助运动的工况特点及要求 34-95 | 2.6 消除运动部件冲击现象的措施 34-98 |
| 1.3 液压系统主要参数的选定 34-95 | 2.7 辅助动作的液压系统设计要点 34-99 |
| 2 设计要点 34-96 | 2.8 多路系统的复合 34-99 |
| 2.1 动力源的选择 34-96 | 2.9 测压点的布置 34-100 |
| 2.2 调速方案的分析 34-96 | 3 典型系统实例 34-100 |
| 2.3 换向阀的选择 34-97 | 4 组合机床液压传动装置的通用化 34-104 |

- 4.1 单元通油板34-106 4.3 叠合式元件34-107
4.2 通用集成块组34-107

第9章 快速平稳往复系统——磨床工作台液压传动系统

- 1 磨床工作台对液压系统的要求34-108 2.6 工作台抖动34-112
2 系统设计要点34-108 3 磨床系统实例34-112
2.1 系统参数34-108 3.1 320×1000型万能外圆磨床
2.2 工作台的往复运动34-108 液压系统34-112
2.3 工作台的换向与制动34-108 3.2 320×700型卧轴矩台精密平面磨床
2.4 工作台的调速34-111 液压系统34-114
2.5 液压系统的温升34-112

第10章 泵、马达组合的传动系统（静液传动系统）

- 1 设计要点34-115 1.6 闭式回路的补油和冷却34-119
1.1 泵、马达组合方式的选择34-115 1.7 液压-机械分流传动34-120
1.2 系统压力和元件选用34-117 2 系统实例34-120
1.3 制动和缓冲34-117 2.1 80马力内燃小机车液压系统34-120
1.4 平衡方式的选择34-118 2.2 石油钻机绞车和转盘的液压系统34-121
1.5 浮动和自由轮工况34-118 2.3 3吨船用起货机的液压系统34-122

第11章 同步系统

- 1 同步系统的原理、特点及应用34-123 2.2 高炉料钟液压启闭同步系统34-127
2 系统实例34-127 2.3 折板机液压同步系统34-128
2.1 剪板机液压同步系统34-127

第12章 以压力变换为主的系统——液压机传动系统

- 1 工况及主机要求34-129 2.3 液压机常用回路34-131
1.1 主机动作要求34-129 3 系统实例34-140
1.2 负载类型34-129 3.1 100吨单柱校正压装机34-140
1.3 主要技术参数34-130 3.2 1000吨冷挤压机34-140
2 设计要点34-130 3.3 250吨粉末制品液压机34-140
2.1 系统压力的选择34-130 3.4 450吨双动薄板冲压机34-141
2.2 主泵类型的选择34-130

第13章 多路复合系统——单斗挖掘机液压传动系统

- 1 工况特点及对液压系统的要求34-143 2.5 回路组合方式34-146
1.1 主机工作过程34-143 2.6 合流方式34-146
1.2 对液压系统的要求34-143 2.7 关于系统发热问题34-147
2 设计要点34-143 3 系统实例34-147
2.1 系统工作压力34-143 3.1 双泵双回路定量系统34-147
2.2 主泵类型及回路数量34-144 3.2 双泵双回路全功率变量系统34-147
2.3 变量方式34-144 参考文献34-150
2.4 液压马达的型式34-145

第1章 概 述

液压传动系统由液压泵、阀、执行器及辅件等液压元件（表34·1-1）组成。它的工作原理是用液压泵把电动机或原动机的机械能转变为液压能，然后通过控制、调节阀和液压执行器，把液压能转变为直线运动或回转运动的机械能，以驱动工作机构完成所要求的各种动作。

本篇主要介绍液压传动系统的设计和液压元件的选用。

表34·1-1 液压元件的种类及作用

种 类	作 用
液压泵	将机械能转换为液压能
液压执行器	将液压能转换为机械能
液压马达	输出旋转运动
液压缸	输出直线运动
液压阀	控制液体压力、流量和流动方向
液压辅件	
管路和接头	输送液体
油箱	贮存液体
滤油器	对液体进行过滤
冷却器	控制液体温度
蓄能器	储存能量
密封件	密 封

1 液压传动系统的特点和分类

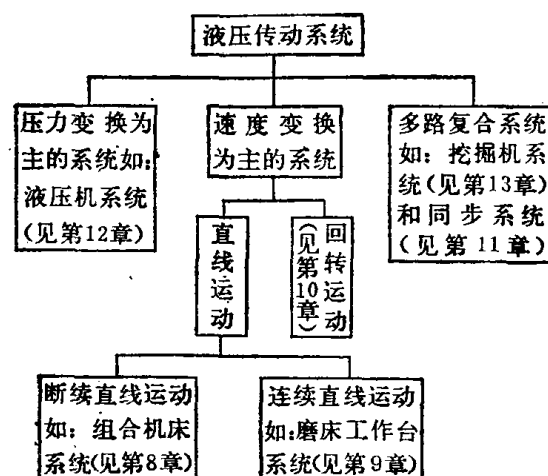
液压传动的特点：

a. 从结构上看，元件单位重量传递的功率大，结构简单，布局灵活，便于和其他传动方式联用，易实现远距离操纵和自动控制。

b. 从工作性能上看，速度、扭矩、功率均可无级调节，能迅速换向和变速，调速范围宽，动作快速性好，缺点是速比不如机械传动准确，传动效率较低。

c. 从使用维护上看，元件的自润滑性好，能实现系统的过载保护与保压；使用寿命较长，元件易实现系列化、标准化、通用化；但对油液的质量、密封、冷却、过滤，对元件的制造精度、安装、调整和维护要求较高。

液压传动系统的分类：



2 常用基础标准

表34·1-2 压力分级（JB824-66）

压力分级	低压	中 压	中高压	高 压	超高压
压力范围 kgf/cm ²	0~25	>25~80	>80~160	>160~320	>320

表34·1-3 公称压力和公称流量系列
(JB824-66)

公称压力 p_n kgf/cm ²			公称流量 Q_n l/min					
2.5	10	100	1000	0.25	1	10	100	1000
		125	1250				125	1250
	16	160	1600		1.6	16	160	1600
		200	2000				200	2000
4	25	250		0.4	2.5	25	250	2500
		320				32	320	3200
	40	400			4	40	400	4000
6		500		0.6		50	500	5000
	63	630			6	63	630	
	80	800				80	800	

表34·1-4 管路公称通径系列

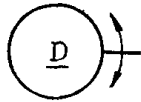
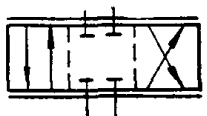
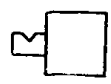
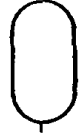
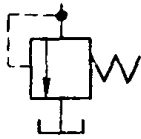
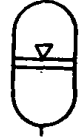
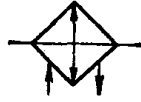
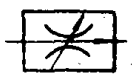
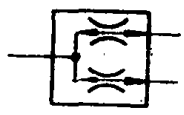
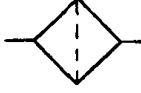
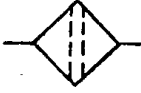
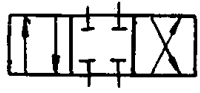
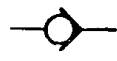
m m									
1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
12	15	20	25	32	40	50	65	80	100
125	150	170	200	225	250	300			

注：本表摘自JB825-66。

表34.1-5 常用液压系统图形符号

类 别	名 称	符 号	类 别	名 称	符 号
管 路 及 连 接	工 作 管 路		液 压 泵、 液 压 马 达 及 液 压 缸	单作用柱塞缸	
	控 制 管 路			单作用单活 塞杆液压缸	
	泄 漏 管 路			单作用伸缩式 套筒液压缸	
	连 接 管 路			双作用单活 塞杆液压缸	
	交 错 管 路			双作用带可调 缓冲器液压缸	
	软 管			差 动 液 压 缸	
	液 流 方 向			双作用双活 塞杆液压缸	
	排 气 装 置 (排气口朝上)			手 动 杠 杆 控 制	
	通 油 箱 管 路 (上图管端在液 面之上,下图为 管端在液面之下)			按 钮 控 制	
	堵 头			脚 踏 控 制	
液 压 泵、 液 压 马 达 及 液 压 缸	液 压 泵		控 制 方 式	弹 簧 控 制	
	单 向 定 量 泵			机 械 控 制	
	单 向 变 量 泵			直 接 液 压 控 制	
	双 向 变 量 泵			先 导 液 压 控 制 (上图压力控制 下图卸压控制)	
	液 压 马 达			单 线 圈 电 磁 铁 控 制	
	双 向 变 量 马 达				
	双 向 定 量 马 达				
	摆 动 马 达				

(续)

类 别	名 称	符 号	类 别	名 称	符 号
控制方式	双向回转直流电动机控制		伺服阀	四通伺服阀	
	定位机构		辅件及其他装置	开式油箱	
	机械反馈机构			蓄能器	
压力控制阀	直接控制溢流阀			隔离式充气蓄能器	
	定压减压阀			增压器	
流量控制阀	固定节流器			油温调节器	
	可变节流器			冷却器 (上图带冷却介质通道的符号 下图为简化符号)	
	可调节节流阀				
	分流集流阀		辅件及其他装置	粗滤油器或滤油网	
方向控制阀	二位四通阀			精滤油器	
	三位四通阀			压力继电器	
	单向元件 (与其它元件组合使用)			交流电动机	
	单向阀			指针式压力表	
	液控单向阀			直读温度计	
	手动截止阀				

3 液压油

3.1 液压油的分类

液压油是液压传动系统的工作介质，又是液压元件的润滑剂。液压油分为石油基液压油和难燃液压油两大类。

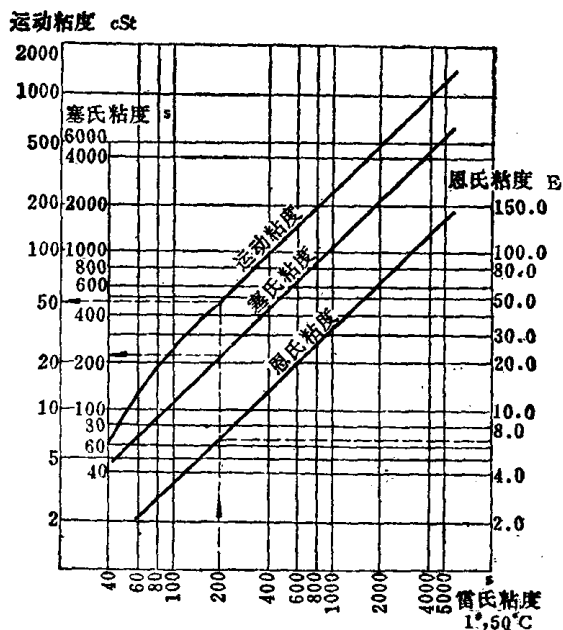
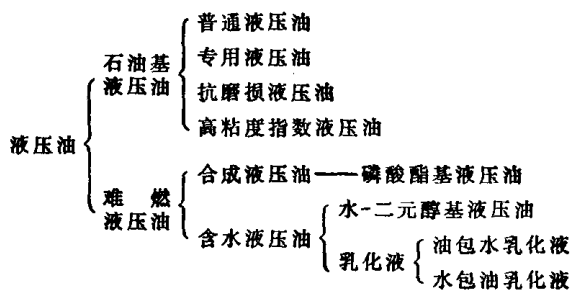


图34-1-1 粘度换算

3.2 液压油的粘度和粘温特性

液体流动时，流层之间产生内部摩擦阻力的性质称为液体的粘性。表示粘性大小的量称为粘度，常用厘沱（cSt）和恩氏粘度（°E）表示。各种粘度的换算见图34-1-1。

液体粘度随温度的变化叫做粘温特性。国产油的粘温特性见图34-1-2。粘温特性还常用粘度指数来表示。粘度指数越高，液体的粘温特性越好，即温度变化后，粘度变化较小。液压油的粘度指数一般高于90。

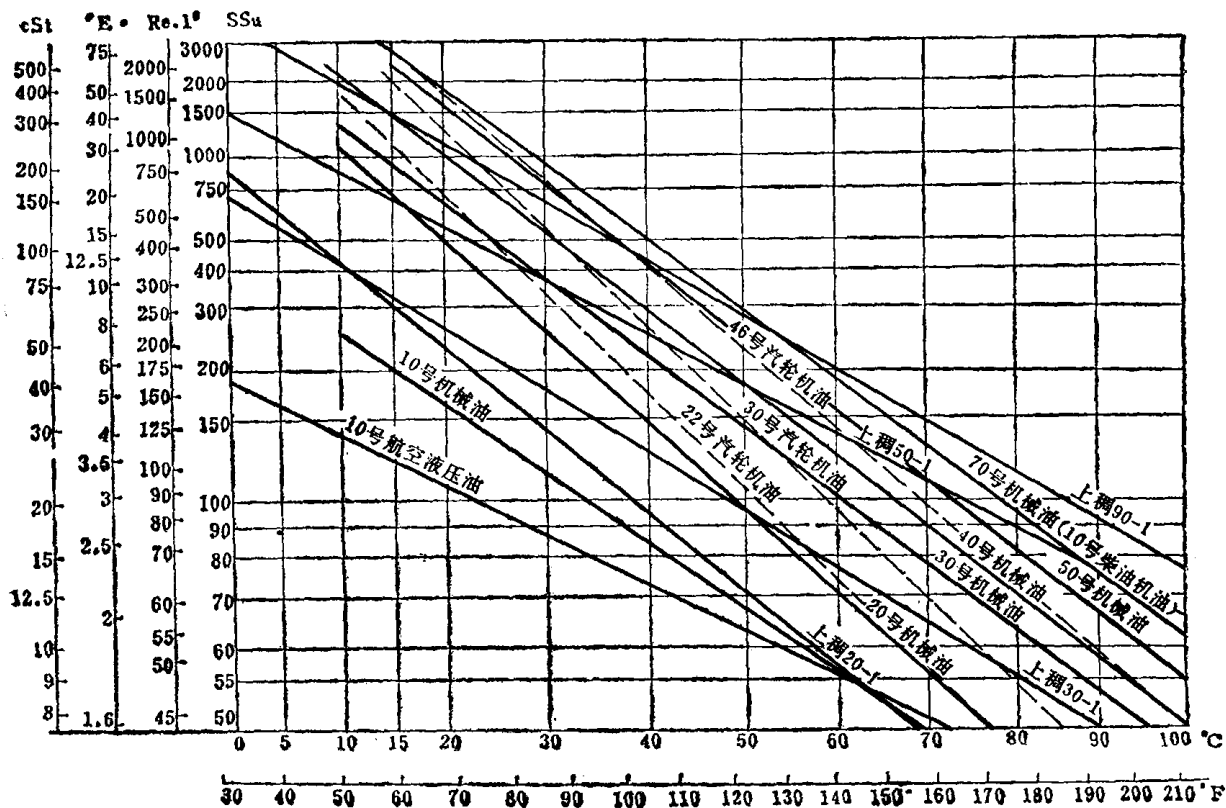


图34-1-2 国产油粘温特性

3.3 液压油的选用

液压油应具有适当的粘度，良好的粘温特性，良好的润滑性，能抗氧化，防锈蚀，抗燃烧，不易乳化，不破坏密封材料，无毒，有一定消除泡沫的能力。

选择液压油时，应根据泵的种类、工作温度、系统压力等，确定适用粘度范围，再选择合适的液压油品种。对于不同的泵，油的推荐粘度范围见表34.1-6。几种液压油的性能见表34.1-7。

表34.1-6 推荐粘度范围

		cSt (50℃)	
工 作 温 度 °C		5~40	40~80
叶片泵	70kgf/cm ² 以下	17~29	25~44
	70kgf/cm ² 以上	31~40	37~54
齿 轮 泵		17~40	63~88
轴 向 柱 塞 泵		25~44	40~98
径 向 柱 塞 泵		17~62	37~154

注：压力高、温度高、运动速度低时，取大值。

表34.1-7 几种液压油的主要性能

油 的 品 种	普 通 液 压 油						数 控 机 床 液 压 油	航 空 液 压 油	磷 酸 酯 液 压 油	油 包 水 乳 化 液
	10号	20号	30号	40号	60号	80号				
粘度cSt (50℃)	8~12	18~22	28~32	38~42	57~63	77~83	18~22	≥10		50~60
粘度指数，不低于	95						175	130		135
闪点(开口)℃，不低于	140	170	180	190			170	92	220	
凝点 ℃，不高于	-15	-10					-10	-70	-18	-20

4 基础知识

液压传动的理论基础是流体力学。常用的流体力学定律有巴斯噶定律、贝努利方程、流动连续性方程、动量定律和内摩擦定律。

液压传动系统中液体的流动分为层流和紊流两种状态，根据雷诺数 Re 的大小来判别。区分层流与紊流状态的雷诺数称为临界雷诺数。几种流动情况的临界雷诺数如下：

光滑金属圆管	2000~2300
橡胶软管	1600~2000
环形缝隙	1000~1100
平板缝隙	1000

液压传动系统中，液体的压力能远大于位能和动能。因此，液体的位能和动能往往不考虑，而把贝努利方程简化为：

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \gamma \Delta h \tag{34.1-1}$$

式中 p_1 、 p_2 ——不同截面处的压力；
 Δh ——压头损失。

4.1 液流的压力损失

液流的压力损失包括沿程损失和局部损失。计算公式如下：

沿程损失
$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\gamma v^2}{2g} \tag{34.1-2}$$

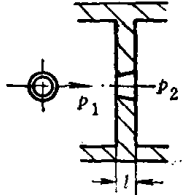
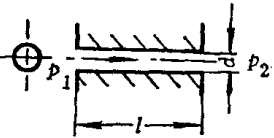
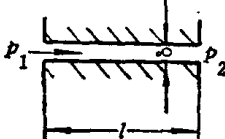
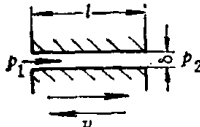
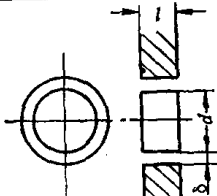
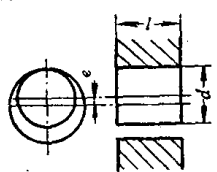
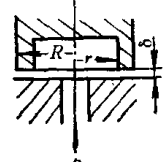
局部损失
$$\Delta p = \zeta \frac{\gamma v^2}{2g} \tag{34.1-3}$$

式中 λ ——沿程阻力系数；
 ζ ——局部阻力系数。

4.2 小孔和缝隙中的流动

各种小孔和缝隙中的流动，按表34.1-8所列公式计算。

表34-1-8 小孔和缝隙流动的计算

小孔或缝隙	简 图	流 量 Q cm^3/s	压 差 Δp kgf/cm^2	平均流速 v_{av} cm/s	功 率 损 失 N_d $\text{kgf}\cdot\text{cm}/\text{s}$
薄刃孔		$KA\Delta p^{\frac{1}{2}}$	$\frac{Q^2}{(KA)^2}$		$\frac{Q^3}{(KA)^2}$
细长孔		$\frac{\pi d^4 \Delta p}{128 \mu l}$	$\frac{128 \mu l Q}{\pi d^4}$	$\frac{\Delta p d^2}{32 \mu l}$	$\frac{128 \mu l Q^2}{\pi d^4}$
两固定平行平面间的缝隙		$\frac{B \Delta p \delta^3}{12 \mu l}$	$\frac{12 \mu l Q}{B \delta^3}$	$\frac{\delta^2 \Delta p}{12 \mu l}$	$\frac{\delta^3 \Delta p^2 B}{12 \mu l}$
运动平面与固定平面间的缝隙		$\left(\frac{\Delta p \delta^3}{12 \mu l} \pm \frac{v}{2} \delta \right) B$	$\left(\frac{Q}{B} \mp \frac{v}{2} \delta \right) \frac{12 \mu l}{\delta^3}$	$\frac{\delta^2 \Delta p}{12 \mu l} \pm \frac{v}{2}$	$\frac{\delta^3 \Delta p^2 B}{12 \mu l} + \frac{\mu l}{\delta} v^2 B$
同心环形缝隙		$\frac{\pi d \Delta p \delta^3}{12 \mu l}$	$\frac{12 \mu l Q}{\pi d \delta^3}$	$\frac{\Delta p \delta^2}{12 \mu l}$	$\frac{\pi d \Delta p^2 \delta^3}{12 \mu l}$
偏心环形缝隙		$\frac{\pi d \Delta p \delta^3}{12 \mu l} \times (1 + 1.5 \epsilon^2)$	$\frac{12 \mu l Q}{(1 + 1.5 \epsilon^2) \pi d \delta^3}$	$\frac{\Delta p \delta^2 (1 + 1.5 \epsilon^2)}{12 \mu l}$	$\frac{\pi d \Delta p^2 \delta^3 (1 + 1.5 \epsilon^2)}{12 \mu l}$
环形平面缝隙		$\frac{\pi \Delta p \delta^3}{6 \mu \ln \frac{R}{r}}$	$\frac{6 \mu Q \ln \frac{R}{r}}{\pi \delta^3}$		$\frac{6 \mu Q^2 \ln \frac{R}{r}}{\pi \delta^3}$

表中符号 μ —动力粘度 $\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{m}^2$; B —缝隙宽度 cm ; K —系数, $K = C_d \sqrt{\frac{2g}{\gamma}}$; v —相对运动速度 cm/s ; ϵ —偏心率, $\epsilon = \frac{e}{\delta}$ 。

4.3 几个特殊问题

a. **流量系数** 实际流量对理论流量的比值叫做流量系数 (C_d)，其值与孔口尺寸、几何形状、流动状态有关。

圆柱滑阀阀口流量系数 C_d 一般为 0.60~0.65，平均取 0.62。

锥阀阀口流量系数 $C_d = 0.80 \sim 0.82$ ；但当 Re 较大， $l/d = 2 \sim 10$ 时， $C_d = 0.78 \sim 0.80$ 。

喷嘴挡板缝隙流量系数 $C_d = 0.61 \sim 0.62$ 。

b. **液压卡紧** 液体流过阀芯阀套间的缝隙时，作用在阀芯上的径向力使阀芯卡住，叫做液压卡紧现象。油液中的污垢颗粒和缝隙阻塞现象都会引起液压卡紧。

减小液压卡紧的措施：

- (1) 在阀芯表面开均压槽。
- (2) 使阀芯或阀套作轴向或圆周方向的高频小振幅振动。
- (3) 采用锥形台肩，台肩小端朝着高压区。
- (4) 采用静压轴承。
- (5) 提高油液的洁净度。

液压卡紧力的计算

阀芯与阀套平行时，卡紧力为：

$$F = \alpha L d (p_1 - p_2) \quad \text{kgf}$$

式中 α —— 卡紧力系数，估算时可取 $\alpha = 0.275$ ；

L —— 阀芯台肩长度 cm；

d —— 滑阀直径 cm；

p_1, p_2 —— 阀芯台肩两端压力， $p_1 > p_2$ kgf/cm²。

不带锥度的阀芯倾斜时，液压卡紧力仍按上式计算，式中 α 值按下表选取。

阀芯倾斜时的 α 值

阀芯、阀套轴线平行					阀芯倾斜			
L/d	0.5	1	2	4	α	ξ	α	ξ
S	α	ξ	α	ξ	α	ξ	α	ξ
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.140	0.436	0.0624	0.475	0.020	0.515	0.0056	0.536
0.2	0.234	0.424	0.125	0.460	0.045	0.509	0.013	0.543
0.4	0.368	0.425	0.240	0.453	0.102	0.510	0.032	0.564
0.6	0.480	0.438	0.350	0.459	0.168	0.510	0.056	0.561
0.8	0.594	0.460	0.460	0.473	0.237	0.505	0.082	0.543
1	0.732	0.500	0.570	0.500	0.300	0.500	0.102	0.502

注：倾斜度 $S = W/2\delta$ ，完全倾斜时， $S = 1$ 。

比值 $\xi = y_p/L$ (y_p 为卡紧力作用点到阀芯左端距离)。

产生液压卡紧的条件

条 件	I	II	III
简 图			
说 明	阀芯或阀套有锥度，有偏心 e ，大端为高压腔，液体流动产生使 e 增大的径向力 若锥度相反，则径向力使 e 减小	阀芯在阀套中倾斜成一定角度，产生偏心和使阀芯、阀套的轴线互不平行的力矩	阀芯有凸起部分，产生一个使凸起部分压向阀套的力矩
备 注	———— 同心环形平行缝隙压力降曲线； - - - - - a 偏心锥状环形缝隙的上缝隙压力降曲线； b 偏心锥状环形缝隙的下缝隙压力降曲线； 作用在阀芯上的径向力		