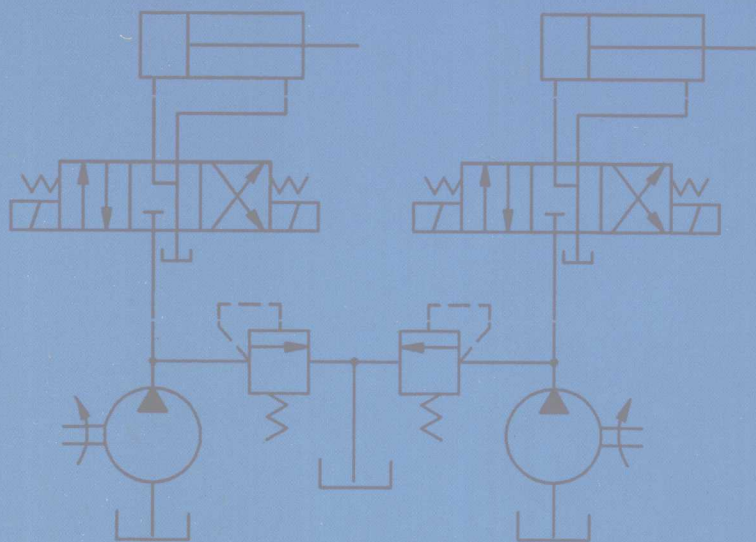


液压传动与控制

(第 2 版)

主 编 张平格

副主编 赵喜敬 张伟杰 姚贵英



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

液 压 传 动 与 控 制

(第 2 版)

主 编 张平格

副主编 赵喜敬 张伟杰 姚贵英

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2009

内 容 简 介

本书共分 12 章,分别介绍了液压流体力学、液压元件(泵、马达、缸、开关控制阀、比例阀、逻辑阀和辅助元件)的结构原理、液压基本回路、液压系统及其设计计算;液压伺服阀及液压伺服控制系统;液压系统的故障诊断与维修等内容。

本书可作为高等学校机械类专业的教学用书,也可供有关科研、设计单位及企业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与控制/张平格主编. —2 版. —北京:冶金工业出版社,2009. 1

ISBN 978-7-5024-4537-9

I. 液… II. 张… III. ①液压传动 ②液压控制
IV. TH137.

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 209561 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

策划编辑 张 卫 责任编辑 王雪涛 美术编辑 李 心

版式设计 张 青 责任校对 侯 珏 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4537-9

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2004 年 8 月第 1 版;2009 年 1 月第 2 版,2009 年 1 月第 3 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19.75 印张;475 千字;300 页;7001~10000 册

36.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第2版前言

冶金工业出版社出版的《液压传动与控制》第1版,自2004年出版以来,被全国很多高等院校的有关专业采用,有关教师通过教学实践后给我们提出了许多宝贵意见,这使我们极受鼓舞,并获得很大教益。因此,在原书基础上我们根据有关教师及热心支持我们的读者的要求,对原书进行了删改和补充。其修订内容如下:

- (1) 在每章节前增加了阅读要求;
- (2) 对第3章中流动阻力部分内容重新进行了组织和编写;
- (3) 对第4章中齿轮泵部分内容进行了删节和重新编写;
- (4) 对第8章中容积调速部分内容进行了修改;
- (5) 对其他章节也作了少量修改。

参加第2版修订工作的有张平格(修改第1章、第6章、第9章、第11章)、赵喜敬(修改第2章、第3章、第5章、第7章)、张伟杰(修改第4章、第10章)、卢军民(修改第8章、第12章),张平格负责全书的修订组织和最后定稿。

修改后的本书有较明显的改进和提高。但由于编者水平所限,书中难免有疏漏或不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2008年12月

前 言

为了适应培养 21 世纪应用型工程技术人才的需要,更充分地反映我国液压传动与控制技术的进步,更好地为工程实际服务,在本书编写过程中,编者参阅了大量有关文献,结合多年的教学实践经验,本着基本观点、基本理论、基本方法与实际应用相结合的原则,并考虑到本专业的通用性特点,本书力求简明扼要,体现液压技术的先进性和系统性。

本书内容包括:液压流体力学、液压元件(泵、马达、开关控制阀、比例控制阀、逻辑阀、伺服阀和辅助元件)的结构原理、液压系统基本回路、液压传动系统、液压系统的设计计算、液压伺服控制系统、液压系统的故障诊断与排除等。

本书由河北工程学院张平格主编,赵喜敬、张伟杰、姚贵英任副主编,潘越、刘志民、朱桂英参编。张平格编写第 8 章、第 11 章,赵喜敬编写第 1 章、第 2 章、第 3 章,张伟杰编写第 6 章,姚贵英编写第 5 章、第 9 章、第 10 章,潘越、刘志民编写第 7 章、第 12 章,朱桂英编写第 4 章。全书由张平格统稿。

河北工程学院于治福教授为本书主审,他对本书进行了详尽细致的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

在本书的编写过程中,参考了大量文献,在此谨向有关作者表示衷心感谢;同时,还得到了有关领导和老师的大力支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中有不妥与疏漏,敬请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 4 月

目 录

1 液压传动概述	1
1.1 液压传动的基本工作原理及组成	1
1.1.1 液压传动的基本工作原理	1
1.1.2 液压传动的主要工作特征	2
1.1.3 液压传动系统的组成	3
1.2 液压传动系统的工作特点	4
1.2.1 液压传动的主要优点	4
1.2.2 液压传动的主要缺点	4
思考题与习题	4
2 液压传动中的工作液体	5
2.1 液体的主要物理性质	5
2.1.1 液体的压缩性	5
2.1.2 黏性	5
2.2 液压传动中的工作介质	8
2.2.1 液压传动系统对工作介质的基本要求	8
2.2.2 常用工作介质的基本类型及其主要性能	10
2.2.3 选用工作介质的基本原则	11
2.3 工作介质的污染及其控制	11
2.3.1 污染物的种类及其危害	11
2.3.2 污染的原因	12
2.3.3 污染的测定	12
2.3.4 污染度的等级	12
2.3.5 工作介质的污染控制	14
2.4 液压冲击与气穴现象	14
2.4.1 液压冲击	14
2.4.2 气穴与气蚀现象	16
思考题与习题	17
3 液压流体力学	18
3.1 液体静力学	18
3.1.1 液体静压力及其特性	18

3.1.2 静止液体的平衡微分方程	18
3.1.3 重力场中静止液体的基本方程式	19
3.1.4 压力表示方法	20
3.2 液体运动学	20
3.2.1 液体流动的几个基本概念	20
3.2.2 流动的连续性方程式	23
3.3 液体动力学	23
3.3.1 理想液体运动的微分方程式	23
3.3.2 理想液体微小流束的伯努利方程式	24
3.3.3 实际液体的伯努利方程式	25
3.3.4 动量方程式	27
3.4 流动阻力	28
3.4.1 流态、雷诺判据	29
3.4.2 黏性流体的运动微分方程式	30
3.4.3 管内层流运动的沿程损失	30
3.4.4 管内紊流运动的沿程损失	32
3.4.5 沿程阻力系数	32
3.4.6 局部阻力损失	35
3.5 孔口和缝隙液流	35
3.5.1 孔口液流	35
3.5.2 缝隙流	36
思考题与习题	40
4 液压泵和液压马达	42
4.1 概述	42
4.1.1 液压泵的用途和分类	42
4.1.2 液压泵的工作原理	43
4.2 液压泵和液压马达的基本性能参数	43
4.2.1 液压泵的性能参数	43
4.2.2 液压马达的主要性能参数	45
4.3 齿轮泵	46
4.3.1 外啮合齿轮泵	46
4.3.2 摆线转子泵	49
4.4 叶片泵	50
4.4.1 单作用叶片泵	50
4.4.2 双作用叶片泵	54
4.5 柱塞泵	56
4.5.1 轴向柱塞泵	56
4.5.2 径向柱塞泵	63

4.6 螺杆泵	65
4.6.1 螺杆泵的工作原理	65
4.6.2 螺杆泵的分类	66
4.6.3 螺杆泵的用途	66
4.6.4 螺杆泵的特点	67
4.7 液压马达	67
4.7.1 液压马达的结构特点和分类	67
4.7.2 齿轮式液压马达的工作原理	68
4.7.3 叶片式马达的工作原理	68
4.7.4 轴向柱塞马达的工作原理	69
4.7.5 内曲线多作用式径向柱塞马达的基本结构和工作原理	69
4.7.6 曲轴连杆型径向柱塞式液压马达的基本结构和工作原理	70
4.7.7 摆线马达的结构和工作原理	71
思考题与习题	73
5 液压缸	74
5.1 液压缸的分类	74
5.2 液压缸的典型结构和组成	75
5.2.1 液压缸的典型结构	75
5.2.2 液压缸的组成	76
5.2.3 几种典型的液压缸	78
5.3 液压缸的设计	80
5.3.1 设计依据和设计步骤	80
5.3.2 确定基本参数	81
5.3.3 液压缸的结构计算和校核	83
思考题与习题	84
6 液压控制阀	85
6.1 概述	85
6.1.1 按功能分类	85
6.1.2 按阀的控制方式分类	85
6.1.3 按结构形式分类	86
6.1.4 按连接方式分类	86
6.2 压力控制阀	86
6.2.1 溢流阀	86
6.2.2 减压阀	91
6.2.3 顺序阀	93
6.2.4 压力继电器	95
6.3 流量控制阀	96

6.3.1 截流口的形式和流量特性	96
6.3.2 截流阀	97
6.3.3 调速阀	99
6.3.4 旁通调速阀(又称溢流截流阀)	100
6.3.5 温度补偿调速阀	101
6.3.6 分流集流阀	101
6.4 方向控制阀	103
6.4.1 单向阀	103
6.4.2 换向阀	105
6.5 电液比例阀	114
6.5.1 电液比例阀概述	114
6.5.2 比例阀的特点	114
6.5.3 电—机械转换器	115
6.5.4 比例压力阀	116
6.5.5 比例流量阀	117
6.5.6 比例方向阀	117
6.6 逻辑阀	118
6.6.1 逻辑阀的组成	118
6.6.2 逻辑阀单元——插装件	118
6.6.3 逻辑方向阀	119
6.6.4 逻辑压力阀	123
6.6.5 逻辑流量阀	124
思考题与习题	125
7 液压传动系统辅件	126
7.1 油箱	126
7.1.1 油箱容积的确定	126
7.1.2 油箱结构	127
7.2 滤油器	128
7.2.1 滤油器的主要性能参数	128
7.2.2 常用滤油器的类型、结构与性能	130
7.2.3 滤油器的选择	132
7.2.4 滤油器在液压传动系统的安装位置	133
7.3 蓄能器	134
7.3.1 蓄能器的功用	134
7.3.2 蓄能器的容量计算	135
7.4 油管 and 管接头	136
7.4.1 油管的种类	136
7.4.2 油管通径和壁厚的选择	137

7.5 密封装置	137
7.5.1 密封装置的类型	138
7.5.2 密封元件的常用材料	138
7.5.3 常用密封元件的结构和性能	138
7.6 冷却器和加热器	141
7.6.1 冷却器	141
7.6.2 加热器	141
思考题与习题	142
8 液压系统基本回路	143
8.1 压力控制回路	143
8.1.1 调压回路	143
8.1.2 减压回路	144
8.1.3 增压回路	144
8.1.4 卸荷回路	145
8.1.5 保压回路	146
8.1.6 平衡回路	147
8.1.7 顺序回路	147
8.2 速度控制回路	148
8.2.1 调速回路	148
8.2.2 快速运动回路	155
8.2.3 速度换接回路	156
8.3 方向控制回路	157
8.3.1 简单换向回路	157
8.3.2 复杂换向回路	157
8.4 多执行元件工作控制回路	159
8.4.1 顺序动作回路	159
8.4.2 同步回路	160
8.5 其他回路	163
8.5.1 缓冲制动回路	163
8.5.2 浮动回路	163
思考题与习题	164
9 液压传动系统	167
9.1 液压系统分类	167
9.1.1 按工作液体的循环方式分类	167
9.1.2 按执行元件类型分类	168
9.1.3 按系统回路的组合方式分类	168
9.2 典型液压系统	169

9.2.1 组合机床动力滑台液压系统	169
9.2.2 Q2-8 型汽车起重机液压系统	171
9.2.3 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统	172
9.2.4 AM-50 型掘进机液压系统	175
9.2.5 DY-150 型采煤机牵引部液压系统	176
思考题与习题	178
10 液压系统的设计计算	180
10.1 明确系统的设计要求	180
10.2 分析工况,确定主要参数	181
10.2.1 工况分析	181
10.2.2 确定主要参数	181
10.3 拟定液压系统原理图	183
10.3.1 概述	183
10.3.2 拟定系统原理图时应注意的问题	183
10.4 液压元件的计算与选择	184
10.5 液压系统的性能验算	184
10.5.1 回路压力损失验算	184
10.5.2 发热温升验算	185
10.6 液压系统的设计计算举例	185
10.6.1 工况分析	185
10.6.2 液压缸主要参数的确定	186
10.6.3 液压系统图的拟定	187
10.6.4 液压元件的选择	188
10.6.5 液压系统的性能验算	189
思考题与习题	190
11 液压伺服控制系统	191
11.1 液压伺服控制系统概述	191
11.1.1 液压伺服控制原理及其特点	191
11.1.2 液压伺服控制系统的组成和分类	193
11.1.3 液压伺服控制的优缺点及其应用	194
11.2 液压伺服阀	195
11.2.1 液压伺服阀的结构及分类	195
11.2.2 零开口四边滑阀的分析	197
11.2.3 正开口四边滑阀的分析	200
11.2.4 双边滑阀的分析	201
11.2.5 带一个固定截流口的单边滑阀的分析	203
11.2.6 液压伺服阀的功率输出及效率	204

11.3 液压动力元件	205
11.3.1 四通阀控制双出杆液压缸	206
11.3.2 四通阀控制液压马达	215
11.4 机液伺服控制系统	216
11.4.1 系统的组成及方块图	216
11.4.2 系统的稳定性分析	217
11.4.3 系统的稳态误差	218
11.4.4 机液伺服系统的实际应用	220
11.5 电液伺服阀	229
11.5.1 电液伺服阀的结构及工作原理	229
11.5.2 电液伺服阀的基本特性	232
思考题与习题	234
12 液压系统故障诊断、维修及保养	236
12.1 液压系统故障诊断步骤与方法	236
12.1.1 液压系统故障产生的特征	236
12.1.2 液压系统故障诊断的步骤	237
12.1.3 液压系统故障诊断的方法	238
12.1.4 诊断故障部位的方法	241
12.1.5 建立故障档案	245
12.2 常用液压元件故障原因与消除对策	246
12.2.1 液压泵故障原因与消除对策	246
12.2.2 液压缸故障原因与消除对策	252
12.2.3 液压阀故障原因与消除对策	255
12.3 液压回路的故障诊断与排除	263
12.3.1 压力控制回路的故障诊断与排除	263
12.3.2 速度控制回路的故障诊断与排除	273
12.3.3 方向控制回路的故障诊断与排除	276
12.4 液压系统常见故障及排除方法	279
12.4.1 振动和噪声	279
12.4.2 液压冲击	284
12.4.3 “爬行”	286
12.4.4 液压卡紧	290
12.4.5 温度过高	290
附录 常用液压元件图形符号	294
附表1 基本符号和管路及连接	294
附表2 控制机构和控制方法	294
附表3 泵和马达	295

附表 4 执行元件	295
附表 5 控制元件	295
附表 6 辅助元件	296
参考文献	297
术语索引	298
部分习题与思考题的答案	300

1 液压传动概述

本章要求

掌握液压传动的基本工作原理、液压传动的主要工作特征及液压传动系统的组成和各部分的作用;了解液压传动系统的优缺点。

一部机器至少由以下 3 部分组成:原动机、传动机构和工作机构。

原动机:为机器提供动力,如电动机、内燃机等。

工作机构:机器完成工作任务的直接工作部分,如剪床的剪刀,车床的刀架、车刀、卡盘,工程起重机的起升机构、回转机构等。

传动机构:改变原动机输出的运动参数和动力参数,以适应机器工作性能的要求。传动机构通常分为机械传动、电气传动和流体传动机构。

流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、能量传递和能量控制的传动。它包括液体传动和气体传动。液体传动又包括液力传动和液压传动。

液力传动主要是利用液体的动能进行能量转换、能量传递和能量控制的传动系统。

液压传动主要是利用液体的压力能进行能量转换、能量传递和能量控制的传动系统。

1.1 液压传动的基本工作原理及组成

1.1.1 液压传动的基本工作原理

现以液压千斤顶为例,来说明液压传动的工作原理及其系统组成。

图 1-1 所示为液压千斤顶工作原理图。

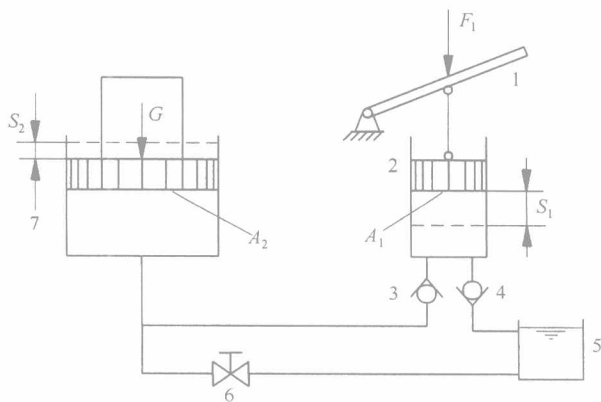


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—手柄; 2—手动泵; 3—排油单向阀; 4—吸油单向阀; 5—油箱; 6—截止阀; 7—液压缸

当手柄 1 带动活塞向上运动时,手动泵 2 的容积增大形成局部真空,使排油单向阀 3 关闭,油箱 5 中的液体在大气压力的作用下,从油箱经管道及吸油单向阀 4 进入泵 2,此为吸油过程;当手柄 1 带动活塞下压时,吸油单向阀 4 关闭,泵 2 中的液体推开排油单向阀 3 经管道进入液压缸 7,迫使活塞克服外负载 G 向上运动从而对外做功,此为排油过程。当手动泵 2 的活塞在手柄 1 的带动下不断上下往复运动时,负载 G 就不断上升;当需要液压缸 7 的活塞停止时,使手柄 1 停止运动,此时排油单向阀 3 在液压力作用下关闭,液压缸 7 的活塞就自锁不动。工作时截止阀 6 关闭,当需要液压缸 7 的活塞放下时,打开此阀,液体在重力作用下经此阀流回油箱 5。这就是液压千斤顶的工作原理。

1.1.2 液压传动的主要工作特征

1.1.2.1 液体压力实现力(或力矩)的传递

图 1-1 中,液压泵 2 的活塞面积为 A_1 ,驱动力为 F_1 ,液体压力为 p_1 ,液压缸 7 的活塞面积为 A_2 ,负载力为 G ,液压力为 p_2 。

稳态时,液压泵 2 的活塞和液压缸 7 的活塞的静力平衡方程式分别为

$$\begin{cases} F_1 = p_1 A_1 \\ G = p_2 A_2 \end{cases} \quad (1-1)$$

如不考虑管道的压力损失,则

$$p_1 = p_2 \quad (1-2)$$

于是输出力,即所能克服的外负载为

$$G = p_2 A_2 = p_1 A_1 \quad (1-3)$$

式(1-3)为力传递的基本方程式。由此可知

$$p_1 = G/A_2 = p_2 \quad (1-4)$$

从以上分析可得出以下结论:

液压泵的工作压力 p_1 取决于外负载(执行元件的结构尺寸一定)。

1.1.2.2 液压泵速度(或转速)的传递

液压泵速度(或转速)传递是靠液体“容积变化相等”原则进行的。

图 1-1 中, S_1 表示液压泵 2 活塞的行程, S_2 表示液压缸 7 活塞的行程。如不考虑泄漏、液体的压缩管路的变形,则

$$A_1 S_1 = A_2 S_2 \quad (1-5)$$

将式(1-5)两端同时除以时间

$$\frac{A_1 S_1}{t} = \frac{A_2 S_2}{t} \quad \text{即} \quad A_1 v_1 = A_2 v_2$$

则

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{Q_1}{A_2} \quad (1-6)$$

式(1-6)即为运动速度传递的基本方程式。由此可得出如下结论:

执行元件的运动速度(或转速)只与输入流量大小有关(执行元件的结构尺寸一定),理论上讲与外负载无关。

在实际工作中,泄漏是不可避免的,泄漏量与液体压力有关,压力越大,泄漏越多。因

此,当负载发生变化时,泄漏量的变化,使实际流量发生变化,从而影响执行元件运动速度的变化。

1.1.3 液压传动系统的组成

图 1-2 为机床工作台液压传动系统图。

工作台要求实现慢速向右进给,然后向左快速退回的动作循环。

图中液压缸活塞通过活塞杆与工作台固定在一起,液压缸缸体固定在机床身上。图示电磁换向阀 6 处于通电状态,液压泵 3 排出的液体输入液压缸 9 的左腔,使其容积不断扩大,推动活塞和工作台向右做进给运动。这时,液压缸右腔的容积缩小回液,它排出的液体经管道及截流阀 8 返回油箱 1。调节截流阀 8 的阀口通流面积,便可控制液压缸右腔的回液流量,达到控制进给速度的目的。

如果令电磁阀断电,则阀心便在弹簧力的作用下左移,使电磁换向阀 6 处于右位工作。这时液压泵排出的液体经过单向阀 7 输入液压缸右腔,推动活塞杆和工作台向左返回。而其左腔容积不断缩小回液,回液经电磁换向阀 6 直接流回油箱。在此过程中,液体不受截流阀的控制,工作台快速返回。

溢流阀 4 与液压泵的排液口并联。当活塞进给速度较慢时,系统中积累多余的液体将使其压力升高。压力上升到足以克服溢流阀阀心的弹簧力作用时,就将阀心推开,使多余的液体直接返回油箱,防止系统过载。

系统中压力表 5 用于监测系统的工作压力;吸液口滤油器 2 可以防止工作液体中的大颗粒固体杂质进入液压泵和传动系统,避免损坏液压元件。

由液压千斤顶和机床的液压传动系统可以看出,一个完整的液压传动系统包括以下五个基本组成部分。

1.1.3.1 液压动力元件

将原动机(常用的有人力机构、电动机和内燃机等)所提供的机械能转变为工作液体的液压能的机械装置,通常称为液压泵或油泵。

1.1.3.2 液压执行元件

将液压泵所提供的工作液体的液压能转变为机械能的装置。做直线往复运动的执行元件称为液压缸或油缸;做连续旋转运动的执行元件称为液压马达或油马达。

1.1.3.3 液压控制元件

对液压系统中工作液体的压力、流量和流动方向进行调节控制的机械装置,通常简称为液压控制阀或液压阀,如压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀等。

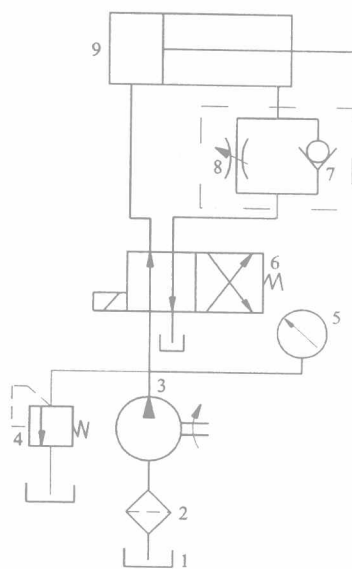


图 1-2 机床工作台液压传动系统图
1—油箱;2—滤油器;3—液压泵;4—溢流阀;5—压力表;
6—换向阀;7—单向阀;8—截流阀;9—液压缸

1.1.3.4 液压辅助元件

上述三个组成部分以外的其他元件,如油箱、管道、管接头、密封元件、滤油器、蓄能器、冷却器、加热器以及各种液体参数的监测仪表等。它们的功能是多方面的,各不相同。

1.1.3.5 工作液体

工作液体是液压传动中能量传递载体,也是液压传动系统中最本质的一个组成部分。

1.2 液压传动系统的工作特点

液压传动系统有以下几个工作特点。

1.2.1 液压传动的主要优点

与机械传动、电力传动相比,液压传动具有以下优点:

- (1) 可实现大范围的无极调速(调速范围可达 2000:1);
- (2) 同功率比较时,液压传动具有质量轻、体积小、运动惯量小、反应速度快等特点;
- (3) 液压传动的各元件,可根据需要方便、灵活地来布置;
- (4) 操纵省力,控制方便,易于实现自动化或遥控;
- (5) 易于实现过载保护;
- (6) 工作介质一般采用矿物油,相对运动表面可自行润滑,因此可提高系统和元件的使用寿命;
- (7) 易于实现直线运动。

1.2.2 液压传动的主要缺点

液压传动的主要缺点如下:

- (1) 液压传动系统同时存在压力损失、容积损失和机械损失,因此传动效率较低;
- (2) 工作性能易受温度变化的影响,因此不易在较高或较低的温度条件下工作;
- (3) 液压元件的制造精度要求较高,因而价格较贵;
- (4) 由于液体介质的泄漏及可压缩性影响,不能得到严格的定传动比;
- (5) 系统的故障诊断比较困难,使用和维修要求有较高的技术水平;
- (6) 油液泄漏不仅污染场地,如处理不当,还可能引起火灾或爆炸事故。

思考题与习题

- 1-1 液压传动系统由哪几个基本部分组成,它们的基本功能是什么?试用示意图说明。
- 1-2 试比较液压传动与机械传动和电力传动的主要优缺点。
- 1-3 用附表中液压系统图形符号表示图 1-1 的液压千斤顶原理图。
- 1-4 说明图 1-2 所示的机床工作台传动系统,若用机械传动来实现同样功能,至少应由哪些部分和零件组成,试用简图表示之。
- 1-5 如图 1-1 所示,某液压千斤顶(设效率为 1)可顶起 10 t 重物。试计算在 30 MPa 压力下,液压缸 7 的活塞面积 A_2 为多大?当人的输入功率为 100 W 时,将 10 t 重物提起 0.2 m 高所需的时间为多少?