

高等学校规划教材

液压与气压传动

YEYA YU QIYA CHUANDONG

主 编 王 慧
副主编 张建卓 张 强



东北大学出版社
Northeastern University Press

© 王 慧 2011

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动 / 王慧主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2011.9

ISBN 978-7-5517-0030-6

I. ①液… II. ①王… III. ①液压传动—高等学校—教材②气压传动—高等学校—教材
IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 184207 号

内 容 简 介

本书共分两篇 13 章, 着重叙述了流体力学基础、液压与气压传动常用元件的基本工作原理、结构及其特点、技术要素、液压与气压传动系统原理、性能分析、液压与气压传动系统应用等, 希望能为读者正确使用和设计液压元件和系统打下良好的基础。本书采用国际单位制, 并附有常用的液压与气压传动常用图形符号。为便于复习和掌握所学内容, 每章的最后均附有思考题与习题。

本书是根据机械类专业的《液压与气压传动》教学大纲和“十二五”规划教材要求编写的, 系高等工科院校机械类等专业的教科书, 也可作为有关的工程技术人员参考用书。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: //www. neupress.com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 22.25

字 数: 570 千字

出版时间: 2011 年 9 月第 1 版

印刷时间: 2011 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘 莹 张德喜

封面设计: 唯 美

责任校对: 辛 思

责任出版: 唐敏智

ISBN 978-7-5517-0030-6

定 价: 39.00 元

前 言

液压与气压传动是在“流体力学”、“工程力学”、“机械制造技术”等基础上发展起来的一门比较新兴的技术。随着我国工业和科学技术的不断发展,液压与气压传动技术在机床工业、汽车工业、工程机械、造船工业、冶金工业、动力工业、矿山机械、农业机械、轻工机械等民用工业和坦克、火炮、舰艇、飞机等国防工业方面得到了越来越广泛的应用。

本书是根据机械类专业的《液压与气压传动》教学大纲和“十二五”规划教材要求编写的,系高等工科院校机械类等专业的教科书,也可作为有关的工程技术人员参考用书。

本书着重叙述了流体力学基础、液压与气压传动常用元件的基本工作原理、结构及其特点、技术要素、液压与气压传动系统原理、性能分析、液压与气压传动系统应用等,为正确使用和设计液压元件和系统,打下了良好的基础。本书采用国际单位制,并附有常用的液压与气压传动常用图形符号。为便于复习和掌握所学内容,每章的最后均附有思考题与习题。

本书分为液压传动、气压传动两篇,共13章。其中第1,2,6,8章由王慧编写,第3,4章由张建卓编写,第10,11,12章由张强编写,第5,9,13章由贾胜德编写,第7章及思考题与习题由齐潘国编写。全书由王慧任主编、张建卓和张强任副主编,并由王慧主持制定编写大纲并完成统稿和定稿工作。

本书在编写过程中,得到辽宁工程技术大学有关系和教研室教师及企业有关同志的大力帮助和支持,在此深表谢意。

由于时间仓促,水平有限,书中难免存在缺点或错误,恳请同行及读者批评指正。

编 者

2011年6月

目 录

第一篇 液压传动

第1章 绪 论	3
1.1 液压传动的基本工作原理	3
1.1.1 液压传动的传动过程	3
1.1.2 液压传动的理论依据	4
1.2 液压传动系统的组成及表示方法	5
1.2.1 液压传动系统的组成	5
1.2.2 液压传动系统的表示方法	6
1.3 液压传动的特点及应用	6
1.3.1 液压传动的特点	6
1.3.2 液压传动技术的应用	7
思考题与习题	8
第2章 液压流体力学基础	9
2.1 工作液体	9
2.1.1 作用在液体上的力	9
2.1.2 液体的主要性质	10
2.1.3 液压油的选择	15
2.2 静止液体的力学基础	17
2.2.1 液体的压力及其特性	17
2.2.2 静止液体的力学基本方程	17
2.2.3 压力的表示方法及单位	18
2.2.4 压力在液体中的传递	19
2.2.5 压力对固体壁面的总作用力	20
2.3 流动液体的力学基础	21
2.3.1 基本概念	21
2.3.2 流动液体的连续性方程	23
2.3.3 伯努利方程	23
2.3.4 动量方程	26
2.4 液体在管道中的流动及压力损失	27

2.4.1 液体流动状态	27
2.4.2 压力损失	28
2.5 液体在小孔和缝隙中的流动	32
2.5.1 圆形小孔流动	33
2.5.2 缝隙间液体的流动	34
2.6 液体气穴和液压冲击	38
2.6.1 气穴现象	38
2.6.2 液压冲击	39
思考题与习题	40
第3章 液压泵	42
3.1 概述	42
3.1.1 液压泵的基本工作原理	42
3.1.2 液压泵的基本参数及其计算	43
3.1.3 液压泵的分类	46
3.2 齿轮泵	47
3.2.1 外啮合式齿轮泵	47
3.2.2 内啮合式齿轮泵	53
3.3 叶片泵	54
3.3.1 单作用叶片泵	54
3.3.2 双作用叶片泵	58
3.4 轴向柱塞泵	61
3.4.1 直轴式轴向柱塞泵	61
3.4.2 斜轴式轴向柱塞泵	74
3.5 径向柱塞泵	77
3.5.1 单柱塞泵	78
3.5.2 卧式柱塞泵	80
3.5.3 柱塞装在转子中的径向柱塞泵	80
思考题与习题	83
第4章 液压马达	86
4.1 概述	86
4.1.1 液压马达与液压泵比较	86
4.1.2 液压马达的基本参数及其计算	86
4.1.3 液压马达分类	90
4.1.4 液压马达的主要性能指标	91
4.2 高速液压马达	92
4.2.1 外啮合齿轮马达	92
4.2.2 叶片马达	94
4.2.3 轴向柱塞马达	96

4.3 低速液压马达	98
4.3.1 行星转子式摆线马达	98
4.3.2 曲轴连杆马达	100
4.3.3 静力平衡马达	106
4.3.4 内曲线径向柱塞马达	108
思考题与习题	122
第5章 液压缸	124
5.1 液压缸工作原理和基本参数计算	124
5.1.1 单作用液压缸	124
5.1.2 双作用液压缸	126
5.1.3 组合液压缸	128
5.1.4 摆动液压缸	130
5.2 液压缸的典型结构	131
5.2.1 单作用柱塞式液压缸	131
5.2.2 双作用单活塞杆式液压缸	131
5.2.3 双作用双活塞杆式液压缸	132
5.2.4 齿条活塞式液压缸	133
5.2.5 单叶片式摆动液压缸	133
思考题与习题	134
第6章 液压控制阀	136
6.1 液压控制阀的分类	136
6.1.1 根据阀的基本功能分类	136
6.1.2 根据阀的基本控制原理分类	136
6.1.3 根据阀的结构形式分类	137
6.1.4 根据阀的连接方式分类	137
6.2 方向控制阀	138
6.2.1 单向阀	138
6.2.2 换向阀	141
6.3 压力控制阀	164
6.3.1 溢流阀	164
6.3.2 减压阀	177
6.3.3 顺序阀	181
6.3.4 压力继电器	184
6.4 流量控制阀	185
6.4.1 节流阀	185
6.4.2 调速阀	190
6.4.3 溢流节流阀	192
6.4.4 分流、集流阀的工作原理简介	194

6.5 自动控制用电液阀简介	196
6.5.1 电液比例阀	196
6.5.2 电液伺服阀	199
6.5.3 电液数字阀	201
思考题与习题	202
第7章 辅助元件	207
7.1 油 箱	207
7.1.1 功用和结构	207
7.1.2 设计油箱的注意事项	208
7.2 滤油器	209
7.2.1 功用、分类和结构	209
7.2.2 滤油器的主要性能指标	211
7.2.3 滤油器的应用回路	213
7.2.4 滤油器的选用和安装	214
7.3 蓄能器	215
7.3.1 功用、分类及结构	215
7.3.2 容量计算	217
7.3.3 蓄能器应用回路	219
7.3.4 蓄能器在回路中的安装位置	220
7.4 热交换器	221
7.4.1 冷却器	221
7.4.2 加热器	222
7.5 油管及管接头	222
7.5.1 油 管	222
7.5.2 管接头	224
7.6 密封装置	225
7.6.1 密封装置的作用与分类	225
7.6.2 常用密封元件的结构和特点	225
7.6.3 间隙密封	227
思考题与习题	227
第8章 液压传动系统	228
8.1 液压传动系统的主回路	228
8.1.1 按工作液体循环方式分类	228
8.1.2 按执行元件的类型分类	229
8.1.3 按执行元件连接方式分类	230
8.2 液压传动系统的基本控制回路	232
8.2.1 方向控制回路	232
8.2.2 压力控制回路	233

8.2.3 有级调速回路	238
8.2.4 多缸动作回路	241
8.3 节流调速	244
8.3.1 节流调速的原理	244
8.3.2 进口节流调速	245
8.3.3 出口节流调速	248
8.3.4 旁路节流调速	251
8.3.5 节流调速回路工作性能的改进	253
8.4 容积调速	255
8.4.1 泵-缸式容积调速	255
8.4.2 泵-马达式容积调速	256
思考题与习题	259
第9章 典型液压传动系统	262
9.1 液压机液压系统	262
9.1.1 概 述	262
9.1.2 工作原理	262
9.1.3 液压系统的特点	265
9.2 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	266
9.2.1 概 述	266
9.2.2 液压系统工作原理	266
9.2.3 换向分析	269
9.2.4 M1432A 型磨床液压系统的特点	271
9.3 MLS ₃ -170 型采煤机牵引部液压系统	272
9.3.1 概 述	272
9.3.2 液压系统的工作原理	272
9.3.3 液压系统的特点	277
思考题与习题	278

第二篇 气压传动

第10章 气压传动基础知识	283
10.1 空气的物理性质	283
10.1.1 空气的组成	283
10.1.2 空气的性质	283
10.1.3 空气质量等级	286
10.2 气体的状态变化	287
10.2.1 理想气体的状态方程	287
10.2.2 气体状态变化过程及其规律(质量不变)	287

10.2.3 气压传动中的快速充、放气过程	288
10.3 气体的流动规律	290
10.3.1 气体流动的基本方程	291
10.3.2 声速和马赫数	292
10.3.3 气体通过收缩喷嘴的流动	292
10.3.4 气动元件管道的有效面积 A	294
思考题与习题	295
第11章 气源装置及气动元件	296
11.1 气源装置	296
11.1.1 气压发生装置	297
11.1.2 压缩空气的净化装置和设备	297
11.1.3 管道系统	299
11.1.4 气动三大件	300
11.2 气动执行元件	302
11.2.1 气 缸	302
11.2.2 气马达	305
11.3 气动控制阀	307
11.4 气动辅件	309
11.4.1 消声器	309
11.4.2 管道连接件	309
11.4.3 气液转换器	309
11.5 真空元件	310
11.5.1 真空发生器	310
11.5.2 真空吸盘	311
11.6 气动逻辑元件	312
11.6.1 气动逻辑元件的分类及特点	312
11.6.2 高压截止式逻辑元件	312
11.6.3 其他逻辑元件	315
11.6.4 逻辑元件的应用	316
11.7 气动传感器及气动仪表	316
11.7.1 气动传感器	317
11.7.2 气动变送器	318
11.7.3 气动调节器	319
思考题与习题	321
第12章 气动回路	322
12.1 压力与力控制回路	322
12.1.1 压力控制回路	322
12.1.2 力控制回路	323

12.2 换向回路	323
12.2.1 单作用气缸换向回路	323
12.2.2 双作用气缸换向回路	324
12.2.3 气马达换向回路	324
12.3 速度控制回路	325
12.3.1 气阀调速回路	325
12.3.2 气液联动速度控制回路	326
12.4 气动逻辑回路	327
12.5 其他常用回路	329
12.5.1 安全保护回路	329
12.5.2 多位缸位置控制回路	329
12.5.3 同步动作回路	330
12.5.4 冲击气缸回路	331
12.5.5 真空吸附回路	331
思考题与习题	332
第13章 气压传动系统实例	333
13.1 气控机械手	333
13.1.1 用信号—动作状态线图法设计的气控回路	334
13.1.2 用卡诺图图解法设计的气控回路	334
思考题与习题	335
附 录	336
参考文献	342

第一篇 液压传动

第1章 绪论

任何完善的机器设备都由原动机、传动与控制机构和工作机构三大部分组成。机器的传动机构包括机械传动、电气传动、气压传动、液体传动等不同类型。所谓液体传动,是以液体作为工作介质,进行能量转换和传递的传动方式。而液体传动按其工作原理的不同,又分为两类:动力式液体传动(简称为液力传动)和容积式液体传动(简称为液压传动)。以液体的动能传递和转换能量的液体传动称为液力传动(如离心泵、液力变矩器等);以液体的压力能进行传递和转换能量的液体传动称为液压传动。

相对于机械传动来说,液压传动是一门比较新兴的应用技术,它是在流体力学、工程力学和机械制造技术基础上发展起来的。

本章将介绍液压传动的基本工作原理,液压传动系统的组成及其表示方法,液压传动的主要优、缺点及液压技术的应用等。

1.1 液压传动的基本工作原理

1.1.1 液压传动的传动过程

下面以液压机为例,讨论液压传动的基本工作原理。图 1-1 为一台液压机的原理图,它把大小两个液压缸中的大小两个活塞密闭并连通,且充满工作液体。当原动机以较小的力 F_1 作用在小活塞上时,小活塞以速度 v_1 向下移动,小液压缸排出的液体正好进入大液压缸。因为两个液压缸中的液体压力是相同的,所以大活塞将以较大的力 F_2 、速度 v_2 上升推动工作机构作功。

这里需要指出的是,工作机构只有对大活塞施加外负载,液体才会产生工作压力;也只

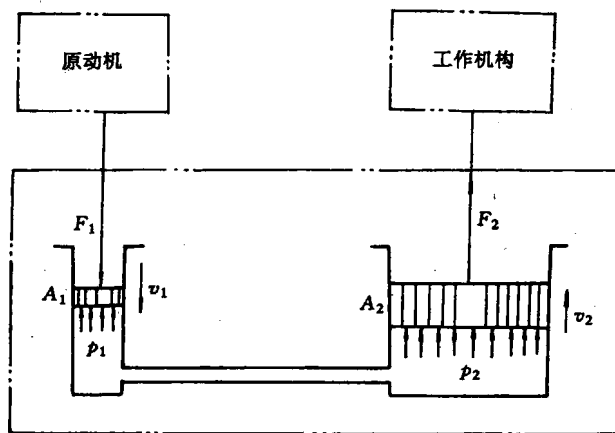


图 1-1 液压传动的工作原理

有这样,小活塞上才能施加作用力 F_1 。简单地说,液压传动中液体压力取决于负载大小,这是一个很重要的概念。

从能量转换角度来看,小液压缸是把作用在小活塞上的机械能(力、速度)转变成输出液体的液压能(压力、流量),大液压缸则把输入的液体的液压能(压力、流量)转变为推动工作机构的机械能(力、速度)。把机械能转变成液压能,再把液压能转变为机械能的全过程,就是液压传动的传动过程。

1.1.2 液压传动的理论依据

液压传动的理论依据主要是流体力学中的帕斯卡原理、连续性原理及能量守恒定律。

(1)力的传递依据静压传递方程——帕斯卡原理

在图 1-1 中,小活塞在外力 F_1 作用下,产生的液体压力为

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

式中 A_1 ——小活塞的作用面积。

大活塞在液体压力 p_2 的作用下,产生的推力为

$$F_2 = p_2 A_2 \quad (1-2)$$

式中 A_2 ——大活塞的作用面积。

根据帕斯卡原理,密闭容器内,平衡液体内某一点的液体压力以等值大小传递到液体各处。因此

$$p_1 = p_2 = p$$

则

$$F_2 = p_2 A_2 = p_1 A_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (1-3)$$

由此可见,在液压传动中,力不但靠液体的静压可以进行传递,而且根据两活塞面积之比值 $\frac{A_2}{A_1}$ 的大小,使力在传递过程中进行放大。力的传递与流量无关。

(2)速度的传递依据流体连续性原理

在图 1-1 中,小活塞向下移动所排出的液体流量为

$$Q_1 = A_1 v_1 \quad (1-4)$$

式中 v_1 ——小活塞移动速度。

大活塞在输入流量 Q_2 作用下,上升速度为

$$v_2 = \frac{Q_2}{A_2} \quad (1-5)$$

假设工作液体不可压缩,根据流动液体连续性原理可得

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

则

$$v_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Q_1}{A_2} = v_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (1-6)$$

不难看出,在液压传动中,速度的传递靠液体的流量,而且大、小活塞移动速度之比等于两活塞面积的反比。速度的传递与压力无关。

(3)能量的转换和传递遵守能量守恒定律

在图 1-1 中,大活塞上升时输出的机械能功率为

$$N_2 = F_2 v_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \cdot v_1 \frac{A_1}{A_2} = F_1 v_1 = N_1 \quad (1-7)$$

式(1-7)表明,大活塞输出的机械能功率与输入给小活塞的机械能功率相等。这说明,在液压传动中,能量的转换和传递是守恒的。

1.2 液压传动系统的组成及表示方法

1.2.1 液压传动系统的组成

图 1-2 为某专用机床的液压传动系统的结构原理图。液压缸 4 固定在床身上,活塞杆 7 和工作台 6 刚性连接。当电磁铁 2 通电而 11 断电时,换向阀 3 的阀芯 10 推向右端。液压泵 12 将油箱 14 中的油液经过滤器 13 吸入泵内,然后将排出的高压油液经换向阀 3 送入液压缸 4 的左腔,推力活塞 5 和工作台 6 向右运动;液压缸右腔油液经节流阀 8 和换向阀流回油箱。此时,若改变节流阀 8 的开口大小,即可改变工作台的运动速度。当电磁铁 11 通电而 2 断电时,换向阀的阀芯 10 被推向左端,使活塞 5 带动工作台 6 向左运动。当电磁铁 2 和 11 都断电时,换向阀的阀芯 10 位于中位,将进、回油路堵死,工作台停止不动。溢流阀 1 在此起调压和限压作用。

任何一个液压传动系统,无论复杂程度与否,通常由以下几部分组成。

① 动力元件。它是把原动机提供的机械能转变为液体的压力能的转换装置,如图 1-2 中的元件 12。通常把动力元件称为液压泵(或油泵)。

② 执行元件。它是把输入的液体压力能转变为机械能的转换装置。执行元件分为两种:一种是输出直线往复运动或摆动形式机械能的液压缸(如图 1-2 中的元件 4),另一种是输出连续旋转运动的液压马达(或油马达)。

③ 控制元件。其作用是控制液压传动系统中的液流方向、压力和流量,从而改变执行元件的运动方向、作用力(或转矩)和运动速度(如图 1-2 中的换向阀 3,节流阀 8 和溢流阀 1 等)。

④ 辅助元件。它包括油箱、油管、管接头、滤油器、蓄能器以及密封装置等。辅助元件也是液压系统中必不可少的元件,它对保证液压传动系统可靠地工作具有重要作用。

⑤ 工作介质。它通常采用液压油,既是

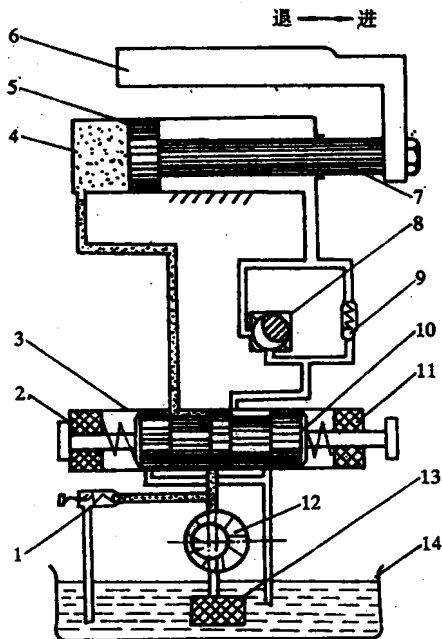


图 1-2 专用机床液压系统结构原理图

1—溢流阀;2,11—电磁铁;3—换向阀;4—液压缸活塞腔;
5—活塞;6—工作台;7—活塞杆;8—节流阀;9—单向阀;
10—换向阀阀芯;12—液压泵;13—过滤器;14—油箱

液压传动的传递介质,又是液压元件和系统的润滑剂。

1.2.2 液压传动系统的表示方法

液压传动系统及其组成的元件可采用装配结构图、结构原理示意图和职能符号图三种表示方法。

(1) 装配结构图

这种表示方法能准确地表达出系统和元件的结构形状、几何尺寸和装配关系。但是,绘制复杂,不能直观地表示出各元件在传动系统中的功能作用。它主要用于施工设计、制造、安装和拆卸及维修等场合,而在分析系统性能时不宜采用。

(2) 结构原理示意图

这种表示方法近似实物的剖面图,如图1-2所示。该种表示方法可以直观地表示出各液压元件的工作原理。但绘制仍然比较复杂,尤其是在负载动作要求多而复杂的情况下,绘制系统原理示意图比较困难。该种表示方法不能直接地反映各元件的职能作用,对于系统性能的分析也过于复杂。

(3) 职能符号图

这种表示方法将系统中各液压元件都用职能符号来表示,如图1-3所示(该图为结构原理示意图1-2的职能符号图)。职能符号图能直观地反映出各液压元件的功能作用,绘制相当方便。对于了解和掌握液压系统工作原理和分析判断系统性能和故障,职能符号图起到重要作用。但是,这种表示方法反映不出各元件的结构和参数,也反映不出系统管路和元件的具体位置。我国制定常用的液压系统图图形符号见附录。

我国制定的液压系统图图形符号中规定,职能符号都以静止位置或零位置表示(另有说明除外),如图1-3(a)中换向阀3是处于中间位置,这时工作台是不动的。

以后在介绍液压元件时,以结构原理图为主,同时也介绍各元件的职能符号。在讨论分析液压传动系统时,以职能符号为主。

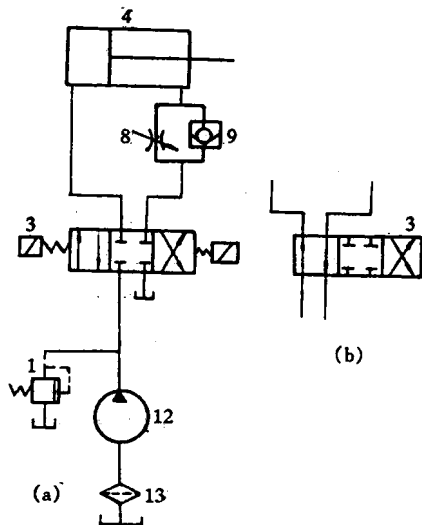


图 1-3 专用机床液压系统职能符号图

1.3 液压传动的特点及应用

1.3.1 液压传动的特点

(1) 优点

与机械传动、电气传动相比,液压传动具有以下主要优点。

- ① 能在较大的范围内比较方便地实现无级调速。调速范围一般可达 $100:1$ 至 $2000:1$ 。
- ② 液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑、惯性小。在同等功率的情况下,液压马达的

质量为电动机的10%~20%,外形尺寸为电动机的15%左右。

③ 操纵、控制简单,方便,省力。若与电器相配合,易于实现远距离操作和自动控制。

④ 易于实现过载保护。只要设置一安全阀便能可靠地实现过载保护。

⑤ 由于液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,故方便了液压系统的设计、制造和推广使用。

⑥ 因液压元件中相对运动零、部件之间有油液存在,能自动润滑,所以液压元件使用寿命较长。

(2) 缺点

与机械传动、电气传动相比,液压传动具有以下主要缺点。

① 液压传动系统的工作性能受外界条件的变化影响较大。如工作油液的黏度要随温度变化而变化,会引起执行元件的速度不稳定。而且,液压传动一般不适合于在低温或高温环境下工作。

② 因液压传动是以液体作为传递介质,故容易产生泄漏和压力损失,因此,传动效率较低。另外,因液体泄漏和压缩性的影响,使液压传动的刚性较差,而产生振动和噪声。

③ 液压传动装置在高压下密封困难,易产生泄漏而造成污染。

④ 对于液压元件的加工精度、材料的材质和热处理工艺、维护检修水平等要求较高,故成本较高。

⑤ 由于工作介质中的污染物会直接影响液压元件的寿命和液压系统的工作可靠性,故对工作介质的过滤要求严格。

总的看来,液压传动的优点很多,因此,在国民经济和国防工业各个方面都得到了相当广泛的应用,它的某些缺点随着科学技术的不断发展,会逐步得到克服。

1.3.2 液压传动技术的应用

随着科学技术的不断发展,目前液压技术无论在民用工业,还是在国防工业方面都得到了相当广泛的应用,现举例说明如下。

(1) 民用工业方面

① 机床工业:液压方面的磨床、铣床、刨床、数控机床等。

② 汽车工业:自卸式卡车、消防车、全液压越野车等。

③ 工程机械:推土机、铲运机、平地机、搅拌机、起重机、装载机、叉车等。

④ 造船工业:起货机、舵机、锚机等。

⑤ 冶金工业:轧钢机的自动化、平炉的装料机、电炉和转炉的控制等。

⑥ 动力工业:电站的自动控制、水坝闸门的启闭机等。

⑦ 矿山机械:挖掘机、运输机、钻机、掘进机、滚筒采煤机、自移式液压支架等。

⑧ 农业机械:收割机、拖拉机等。

⑨ 轻工机械:造纸机、印刷机、纺织机、塑料成型机等。

(2) 国防工业方面

① 陆军:高射炮随动系统、坦克炮的稳定系统以及雷达天线扫描系统等。

② 海军:舰炮瞄准稳定装置、海岸炮、鱼雷发射器、舰艇舵机、舰艇消摆装置、潜艇桅杆升降装置及雷达稳定平台等。