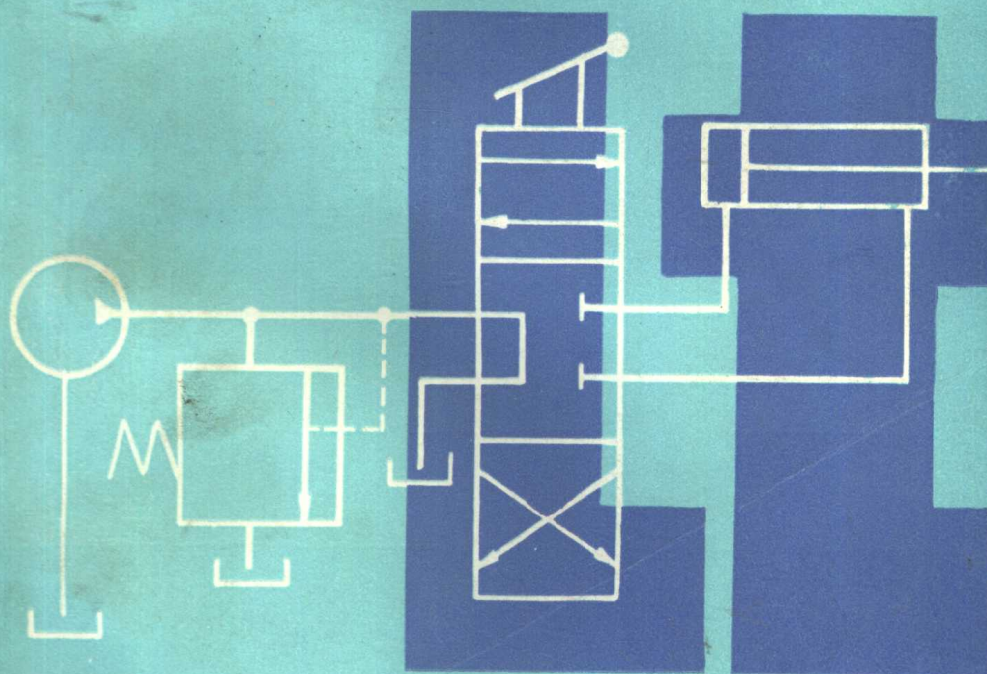


流体动力回路 及系统导论

拉塞尔·W·亨克 著



机械工业出版社

流体动力回路及系统导论

拉塞尔·W·亨克 著

河北机电学院流体传动与控制教研室 译



机械工业出版社

译者的话

液压与气动回路的设计是十分重要的。但是，许多回路及系统都是凭直观经验或参考一些现成的典型回路设计成的。这样做对比较复杂的系统而言，就很难得出良好的结果。以前出版的有关书籍，有的过分简略，只介绍一些典型回路；有的则侧重数学处理，较难接受。

这本流体动力回路及系统导论，以能量传递为中心，提出了一种逐步进行设计的方法。采用这种方法，即使经验较少的设计者，也能设计较复杂的系统，而不会漏掉某些重要的因素，这是这种方法的一个最主要特点。此外，本书论述详细、深入浅出，避免了复杂的数学处理，具有较多的实例，容易为学生及从事实际工作的工程技术人员所接受。本书在理论分析上有些地方过于简略，尤其是闭环系统的分析，只给出了一个粗略的概念，这是其不足之处。

本书由河北机电学院流体传动与控制教研室翻译，其中周国强译1~5、26~27章，张学洵译6~9、24章，杨晓征译10~13、21~22章，翟万斌译14~17、25章，张利平译18~20、23章，吴声浔译28~34章，本书初稿由吴声浔和翟万斌作了文字上和技术上的复查。

本书校订宋鸿尧，审稿宋学义。

翻译过程中，曾得到石家庄市科技干部进修学院和帮助，在此表示感谢。

1983年10月

前 言

本书是流体动力技术方面的一部导论性丛书的一部分，其意图是填补文献上的一个空白：一本涉及流体动力及系统入门的教科书。

在此丛书的第一本书《流体力学导论》的前言中，我曾说过：对我来说，写这部书时考虑最多的是如何使这个导论尽可能地具有趣味性。我过去和现在都不认为去写一些难于理解的问题有什么价值。在我看来，目前所写的技术文献中，绝大部分都不是直接为学生写的。一方面是对流体动力回路进行简单的或肤浅的处理；另一方面是对反馈系统的理论进行分析的高级论文，它使用了不为广大流体动力专业人员所掌握的复杂的数学知识。本书的目的就是去填补它们之间的空白。该书力图注重实效，因为工程技术本身确实应该这样。

《流体动力回路及系统导论》致力于整个能量传递系统的综合：即开环流体动力回路及闭环流体动力系统。本书力图建立一套进行回路设计的方法，这种方法是以前仔细研究该回路必须完成的工作为基础的。

本书的内容取材于流体动力领域中广泛的工业经验，并在米尔沃基工程学院的流体动力技术课中进行过课堂讲解。其中很多材料曾用作学士学位的技术选修课和由米尔沃基工程学院及流体动力学会对企业中的工程师进行进修教育的教材。

我要感谢米尔沃基技术学院的管理当局，感谢他们给我这个校内流体动力学院的创始人以制定流体动力教学大纲的

ADG 65 / 17

机会，这促进了本书的写作。

我要感谢以前和我一起_在流体动力学院任职的同事杰克·约翰逊先生，因为他在编写这本书时所作的取舍方面的贡献是极为重要的，特别是本书中的一些材料取之于他编写的逻辑回路方面的教材。

前16章及第三篇的许多内容，曾在《机械设计》杂志上刊登过，我要感谢该杂志的出版者及编辑部，允许我采用这些材料。也要感谢《液压与气动》杂志的出版者与编辑部，他们允许我采用他们刊物上的气动逻辑回路的材料。

最后，感谢我过去的学生，写这部丛书的真正荣誉是属于他们的，我希望这个成果能够符合他们的期望。

拉塞尔·W·亨克

目 录

第一篇 流体动力回路设计导论

第一章 能量的传递	1
一、能量传递过程	1
二、功率	6
第二章 回路的定义和回路分类	8
一、开环回路与闭环回路	8
二、开环回路的分类	9
第三章 开环回路设计准则	18
一、任务	18
二、时间准则	22
三、流量图	23
四、压力图	24
五、功率图	25
第四章 中开式回路	27
一、泵的输出压力	27
二、泵的流量与执行元件速度的关系	28
三、决定执行元件的尺寸	30
四、使泵卸荷	30
五、输出速度的控制	31
六、实例	31
第五章 中闭式回路	38
一、定量泵回路	38
二、压力补偿泵	42
三、流量补偿泵	44
四、中开式回路与中闭式回路的比较	45

第六章 阻力负载分析	48
第七章 超越负载和惯性负载分析	59
一、超越负载	59
二、惯性负载	62
第八章 能量传递的最佳化因素	72
一、最佳系统压力	73
二、最佳流量	81
三、控制问题	83
第九章 能量控制问题(压力控制)	85
一、压力的直接控制	85
二、系统的压力降问题	95
第十章 压力控制回路	97
一、限压回路	97
二、卸荷回路	98
三、控制缸内压力的回路	100
四、蓄能器回路	103
第十一章 能量控制问题(流量控制)	107
一、用阀控制流量	107
二、用泵控制流量	114
三、关于方向控制	115
第十二章 流量控制回路	116
一、进口节流回路	116
二、出口节流回路	116
三、旁通节流回路	117
四、差动回路	117
五、间歇式进给控制	119
六、减速控制	119
七、多重面积的复合缸	120
八、充液回路	121

九、分流阀回路	123
十、特殊回路	124
第十三章 流体动力回路补充实例	126
一、顺序回路	126
二、同步回路	127
三、保险回路	130
第十四章 能量输入和输出装置的选取	134
一、泵的选取	134
二、马达的选取	138
第十五章 控制阀的选取	142
一、方向控制阀的选取	143
二、流量控制阀的选取	146
三、压力控制阀的选取	148
第十六章 辅助装置的选取	151
一、管路	151
二、接头	152
三、油路板	153
四、液压流体	154
五、油箱	155
六、滤油器	156
七、热交换器	157
八、电气控制装置	158
九、仪表	158
第十七章 回路设计的流程图解法	160
一、负载图	163
二、压力图	166
三、流量图	166
四、功率图	167
五、周期图	168

六、回路设计	169
七、元件的选择	173
八、系统的发热估算	175
九、小结	177
第十八章 图解分析法概论	179
一、理想液压马达	179
二、实际马达	181
三、节点图解法	190
第十九章 系统的发热及其控制	197
一、泵和马达的发热	197
二、节流引起的温升	198
三、发热及热平衡	200
四、发热的原因	204
五、减少发热的方法	205
第二十章 气动回路概论	208
一、流体特性的差别	208
二、流体特性对马达性能的影响	210
三、流体特性对控制阀性能的影响	213
四、气动回路实例	216
五、气-液回路实例	223
第二篇 逻辑回路设计	
第二十一章 逻辑的概念	227
一、计数制	227
二、位置加权	229
三、二进制	232
四、变量的组合	234
第二十二章 布尔代数	238
第二十三章 开关理论在方向控制中的应用	247
一、开关理论	247

二、逻辑函数的图示法	251
三、开关的动作	252
四、程序图	255
第二十四章 射流技术简介	270
一、射流装置的性质和用途	272
二、射流装置的类型	281
三、逻辑系统	291
四、小结	294
第二十五章 有运动件的流体逻辑控制回路	295
一、有运动件的逻辑装置的类型	295
二、由有运动件的装置完成的某些特殊功能	298
三、有运动件的逻辑装置的回路	302
四、有运动件的逻辑装置与射流技术的比较	309
第二十六章 流体动力回路的电气控制	312
一、开关和其它电气元件	312
二、额定值及技术条件	317
三、电气控制回路实例	319
第二十七章 电-流体模拟引论	332
一、模拟的基础	333
二、电-流体模拟的应用	333

第三篇 闭环系统

第二十八章 绪论	343
一、反馈	344
二、伺服系统的分类	348
三、伺服系统的基本元件	350
第二十九章 反馈传感器(位置传感器)	353
一、电气位置传感器	353
二、非电气位置传感器	360

第三十章 反馈传感器(速度、加速度、力、流量 传感器)	362
一、速度传感器	362
二、加速度传感器	363
三、力(压力)传感器	365
四、流量传感器	367
第三十一章 伺服系统的应用(位置控制)	369
第三十二章 伺服系统的应用(速度、加速度和力 的控制)	378
一、速度控制	378
二、加速度控制	386
三、力控制	386
第三十三章 伺服系统分析	389
一、方块图	394
二、传递函数	395
三、增益	396
第三十四章 伺服系统分析(续)	403
一、系统的稳定性	403
二、阻尼	403
三、时间常数	405
四、系统的响应	405
五、相位	407
六、伯德图	408
七、控制型式	409
八、参考书目	412
附录	415
一、逻辑符号表	415
二、美国流体动力图形符号标准	421
三、SI制、工程制、英制单位换算表	430

第一篇 流体动力回路设计导论

第一章 能量的传递

掌握流体动力技术的最后一个步骤是研究回路和系统。此时流体动力专业的学生可把在前一阶段学习中所获得的知识综合起来，并用来设计切实可行的系统。

流体动力回路可从以下两个方面来考虑：

1. 设计 回路设计就是组成一个能量传递系统，以完成一项专门的任务。

2. 分析 回路分析就是对现有回路的特性进行分析。

设计是一个演绎的过程，分析是归纳的过程。本书为设计这个演绎过程提供一个逐步进行的方法。读者将会发现只要按照所给标题的顺序仔细地学习，就能使困难减至最小。

一、能量传递过程

流体动力技术是研究能量传递系统的。用这样的系统把能量从称为原动机的动力源传递到负载上，做有用功。这个功可以把一个物体从一个位置移动到另一个位置（例如，在一条自动传送带上）、驱动机床主轴、带动铣床工作台或提起装载机前端的料斗等。

功的简单定义为：

$$\text{功} = \text{力} \times \text{距离} = \text{磅} \times \text{英尺} = \text{ft} \cdot \text{lb}$$

在这个机械功的定义中，能量的单位是英尺-磅(ft·lb)。

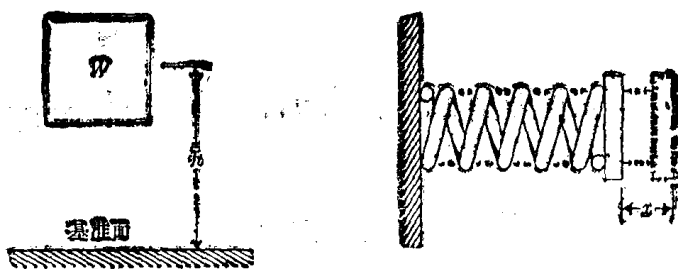


图 1-1

直线运动的功与旋转运动的功之间是没有区别的。

有两种机械能：势能和动能。

势能是蓄积的能，实质上是静止的能。这个术语表示当它从储存状态释放能量时，具有做功的能力。观测势能的最简单方法是把一重物 W (以 lb 计) 放在离基准面上方 h (以 ft 计) 的高度上，这时我们说，重物相对于基准面有 $W \times h$ (ft·lb) 的势能(见图1-1a)。

关于势能的另一个例子是受压缩的弹簧。若一根具有弹簧常数 k (lb/in) 的弹簧被压缩一段距离 x ，则弹簧的势能 (PE) 是 $\frac{1}{2} kx^2$ (见图1-1b)。

动能是运动的能，它是由物体的速度所引起的。动能的表达式是 $KE = \frac{1}{2} mv^2$ ，式中 m 是物体的质量， v 是物体的速度。 $m = W/g$ ，这里 W 是物体的重量 (lb)， g 是重力加速度。由于 g 是用 ft/sec^2 ， v 是用 ft/sec 为单位的，所以动能的单位是 $\frac{\text{lb}}{\text{ft}/\text{sec}^2} \times \frac{\text{ft}^2}{\text{sec}^2}$ ，简化后得 $\text{ft} \cdot \text{lb}$ ，与势能具有同样的单位。

在这两种能之间有一个重要的关系。能量守恒定律指出，一个系统具有的总能量是不变的，即 $KE + PE = C$ 。因而，如果一个流体动力系统中任意两点间的势能有变化，就会有相应的动能变化，即 $\Delta PE = \Delta KE$ 。

在流体动力系统中，能量的传递是由势能的变化实现的。设有一个流体动力回路，它包括一个流体源、一个输入装置（泵）、导管和一个输出装置（缸或马达），输出装置用流体的能量做功，然后，流体再返回油箱。为了便于比较，假定回路中的流体是比重为0.8的油。如流体以 10gpm^{\ominus} 的流量， 3000psi 的压力流过管路，并假定管子的尺寸使流速为 30ft/sec 。因水重为 8.345lb/gal ，故

$$W = 10\text{gpm} \times 8.345\text{lb/gal} \times 0.8 \\ = 66.6\text{lb/min} = 1.11\text{lb/sec}$$

$$m = \frac{W}{g} = \frac{1.11\text{lb/sec}}{32.2\text{ft/sec}^2} = 0.0345\text{slug/sec}$$

(斯勒格/秒) $^{\ominus}$

于是 $KE = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.0345 \times 900 = 15.5\text{ft}\cdot\text{lb/sec}$

$$PE = W \times 2.32\text{p}/0.8 = 1.11\text{lb/sec} \times 2.32 \times 3000/0.8 \\ = 9650\text{ft}\cdot\text{lb/sec}$$

因而流体流束的势能大约为动能的600倍。

如果我们忽略缸内的面积差，则流入输出装置的流速大体上等于流出的流速。

也就是说，位于回路末端的缸或马达把流体送回油箱时，

\ominus 这里指的是美国加仑，1加仑=231英寸³，加仑每分写作 gpm。——译者

\ominus 斯勒格是英制中质量的绝对单位，它相当于磅·秒²/英尺。——译者

流体的动能和它离开泵时的动能有相同的数量级。因而，经过回路的动能变化 $\Delta KE \approx 0$ 。

另一方面，离开输出装置的流体势能，比它进入此装置

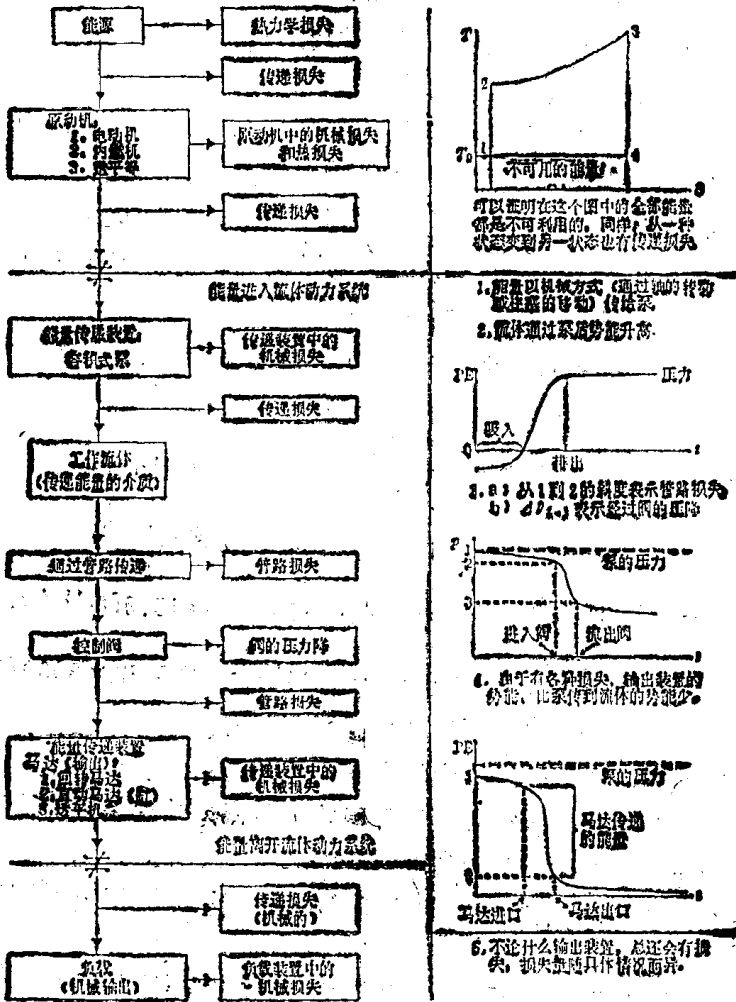


图1-2 在流体动力系统中能量传递流程图

时大为减少。若这个输出装置是缸，则缸中的活塞起着进入缸内的高能流体与进入油箱的低能流体之间的分界面的作用。输入的势能首先被传到活塞上，形成的力使活塞杆移动一个与活塞行程相等的距离，流体的势能就这样变成了输出功，即 $\Delta PE = \text{功}$ 。若输出装置是回转式马达而不是缸，也出现类似的能量传递，只不过机械输出是转矩不是直线力。

流程图法能帮助人们去观察出现在流体动力回路中的能量传递过程。图 1-2 左边是流程图，右边的四条曲线是出现在流程中各个阶段的过程图。

流程图从供给原动机的能源开始。把能量供给原动机的过程必然引起一个热力学的能量转换，右上方的曲线表示一个典型的热力学循环。下一个流程图表示从原动机到流体的能量传递，实现这个传递的装置是泵。图中右边第二条曲线表示流体通过泵时势能的变化。

能量传递损失在泵之后，就是流体通过管路时的能量损

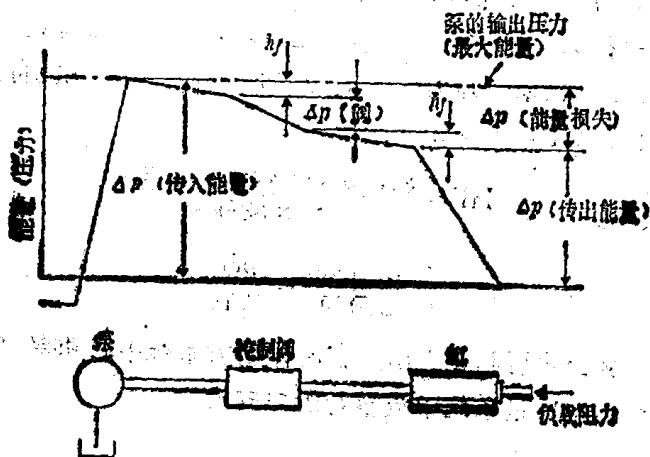


图 1-3

失，称为管路损失。然后就是通过控制阀的压力降所引起的能量损失。这两种损失反映在第三条曲线中。

经阀启面的管路损失后，流程图中所表示的就是传给负载的能量。这个被传递的能量就是回路的输出量。相应的曲线表示经过机械输出装置时以压差形式出现的能量传递情况。

如果把图1-2和图1-3对照，将看出图1-2是一个简单的流体动力回路中常见的压力-能量图的放大（在图1-3中， h_f 代表能头损失）。

二、功 率

前面复习了动能和势能的概念，并介绍了流程图法，现在返回到功的题目上来，并讨论流体动力系统的功率问题。我们用马力表示功率，在英制中1马力等于550ft·lb/sec或33000ft·lb/min。回想在计算势能时，曾把用psi(磅/英寸²)表示的压力变换为能头英尺($h=2.32p/S_g$ ，这里 S_g 是流体的比重)，并把用gpm(加仑/分)表示的流量变换为磅/分($W=8.345 \times Q \times S_g$ ，式中 Q 是以gpm表示的流量)。如果将这两个量相乘，并用等于1马力的功率来除，就能得到常见的计算液压马力的公式：

$$\text{HP} = \frac{8.345 \times Q \times S_g \times 2.32p}{S_g \times 33000}$$

$$= \frac{19.4pQ}{33000} = \frac{pQ}{1714}$$

从公式可明显看出，在流体动力系统中，功率（即能量传递速率）是系统中流量与压力的函数。

重要术语

流体动力技术 用加压流体来实现能量的传递、控制和