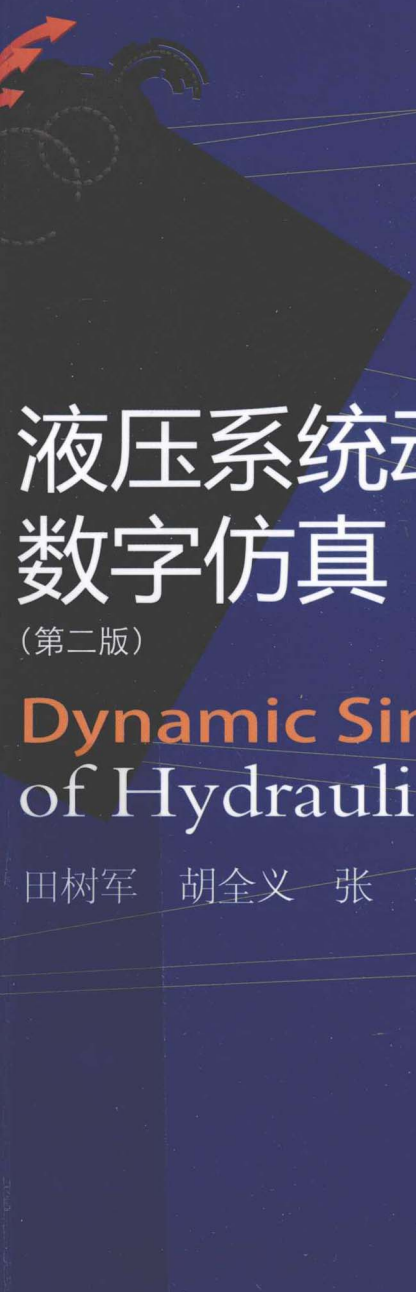




液压系统动态特性 数字仿真

(第二版)

Dynamic Simulation of Hydraulic Systems

田树军 胡全义 张 宏 • 编著



大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press

液压系统动态特性 数字仿真

(第二版)

Dynamic Simulation
of Hydraulic Systems

田树军 胡全义 张 宏 • 编著



大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press

图书在版编目(CIP)数据

液压系统动态特性数字仿真 / 田树军, 胡全义, 张宏编著. — 2 版. — 大连: 大连理工大学出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-5611-7119-6

I. ①液… II. ①田… ②胡… ③张… III. ①液压系统—数字仿真 IV. ①TH137—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 168785 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84703636 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连金华光彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 147mm×210mm 印张: 12.75 字数: 261 千字
1993 年 8 月第 1 版 2012 年 7 月第 2 版
2012 年 7 月第 2 次印刷

责任编辑: 于建辉

责任校对: 碧海

封面设计: 冀贵收

ISBN 978-7-5611-7119-6

定价: 38.00 元

本书由大连市人民政府资助出版

The published book is sponsored by
The Dalian Municipal Government

第二版前言

自本书第一版问世的近二十年来,各方面的情况都发生了不小的变化。首先,系统动态特性数字仿真,尤其是基于功率键合图的建模方法,作为液压技术领域现代设计分析方法的一项重要手段,已为越来越多的人所熟悉和采用,并在产品的设计和制造过程中起到了愈加显著的作用。第二,系统动力学的相关理论和实用软件技术,也有了长足的发展,一些适合于液压系统乃至整个工程系统的通用建模与仿真软件相继问世,使得动态仿真技术的应用质量、效率和作用都提高到了一个新的阶段。第三,以工程机械为典型代表的应用需求,使得液压产品的设计开发更加趋于高品质、个性化和短周期,相形之下,旨在探求和改善系统动态特性的仿真技术已不再是可有可无,而逐渐成为提高产品市场竞争力的必备手段。在此背景下,应许多液压技术同行的日益需求,作者开始着手本书的修订工作。

本书第一版注重实用的风格多年来一直为广大读者所认同,在以一定的篇幅介绍相关基础理论的同时,侧重于对仿真技术的

使用者特别是初学者在应用实践中所可能遇到的问题给予有预见性的提炼和回答。如果说这一风格可视为一种特色所在,则它无疑是修订者所应刻意追寻和保持发扬的。

此次修订,第一、二、四、六章的结构和内容基本上未作大的改动。主要的变化在第三章和第五章,有如下几处:其一,在 § 3-3 节重点就键合图的不同结构类型及其对建模操作的影响作了较深入的探讨,特别对非标准型键合图和具有混合因果关系的键合图作了较详细的分析。其二,考虑到“结型结构”理论和方法在功率键合图技术发展中的特殊地位和影响,增设了 § 3-4 节,对结型结构的内涵、作用及其应用特点,作了较为系统的阐述。其三,第五章原有的几个应用实例,多偏重于机床液压系统;根据工程机械方面的现实需求,此次将其中半数改换为更具典型性的工程机械系统实例。此外,鉴于仿真结果的输出如今已有许多功能软件可用而无需自行编程,故删去了原书第四章中的相关内容。

本书第七章为这次修订新增内容,专门介绍了较有代表性的 Modelica 仿真语言;这主要是考虑到现今相当部分的仿真和建模都是在相应的开发平台或通用软件的基础上进行的,应当择其一为初学者作些解读并提供应用“范例”。

本书由田树军、胡全义和张宏合作编写。其中,田树军编写第一、二、三、六章,胡全义编写 § 5-3 节、§ 5-4 节和第七章,张宏编写第四章和 § 5-1、§ 5-2 节及附录,并负责全书插图的重新绘制和程序改写;全书由田树军统稿。

本书第一版主要作者刘能宏教授对于此次修订给予了充分的关注和悉心的指导,对本书的顺利修订和出版起到了重要的促进

作用。在此,特向刘老师表示衷心的感谢。

浙江大学陈鹰教授对书稿进行了全面细致的审阅,所提出的意见经调改、实施后为本书增色不少,特此向陈鹰教授致谢。

在本书的修订编写过程中,得到大连理工大学、机械工程学院、出版社及有关同事的热情关心和支持,在此谨表示诚挚的谢意。

大连市科技专著出版基金对本书的修订和出版给予了大力支持,特此致谢。

本书如能对国内同行的教学、科研和生产设计有些新的进一步的借鉴和帮助,当不违作者此次修订编写之所望。但限于作者水平,书中难免存在缺点和错误,敬请同行和读者批评指正。

田树军

于大连理工大学

2012. 7

第一版前言

当今世界技术发展突飞猛进,其中液压技术占有重要地位,特别是机电液一体化代表着一个重要发展方向。与此同时,对机器性能的要求也日益提高。如果说,过去对于液压系统的动态性能尚不够重视,今后对此在许多场合则不容忽视,诸如运动平稳性、运动精度、振动、爬行、冲击、噪声等问题都与元件或系统的动态性能密切相关。因此,如何在机器的设计阶段,即能做到预测其动态特性,以保证机器制造运转后的要求,以及在改进设计中,如何通过动态分析,把握住提高性能措施的方向,当为技术界所瞩目并希望能顺利解决的课题之一。

目前,液压系统动态分析的方法并不鲜见,亦各有其特点。其中,应用功率键合图作为建模工具,并在计算机上进行数字仿真,当属海内外公认的液压系统动态分析的有效方法之一。本书即根据作者及其所在单位同仁十多年来在该领域从事教学、科研积累起的心得体会写成,以期适应当前在这方面的需要。

对系统动态特性进行分析,在技术层次上有较高的要求。写

作本书的宗旨是：在液压系统动态特性数字仿真方面，着重于讲清概念及有助于实用，涉及的有关问题，不追求系统、全面，够用就行，即使对于本书所采用的有效建模工具功率键合图技术也不例外。这是考虑到，一本书不可能包含内容过多，在掌握本书基本内容的基础上，根据需要进一步阅读有关文献并非难事。

本书各章叙述内容概括如下：

第一章对液压系统动态特性的分析进行概述，包括动态分析的作用、研究的内容和方法以及影响动态特性的诸因素；

第二章介绍功率键合图的作用、构成、符号和绘制方法，主要通过实例进行，读者可以发现，即使以前从未涉及该领域，对于键合图的了解和应用，也是简单易学，便于掌握，该章最后并辅以几个键合图的应用实例，以期扩大读者视野；

第三章介绍系统数学模型的建立，包括从键合图推导状态方程的过程，上机进行仿真计算前的准备工作，并对涉及的变量间因果关系及时变非线性因素问题进行阐述；

第四章叙述数字仿真编程中的有关问题，包括计算方法、计算步长、刚性方程、输入与输出、时变参量的处理、约束条件及优化等问题；

第五章介绍几个典型液压系统建模与数字仿真实例，这些系统各具特点，读者可以由此了解到在不同的具体实用条件下，进行建模与数字仿真时处理有关技术问题的一些方法；

第六章介绍一种通用仿真软件包，应用该软件包在计算机上可以直接从键合图自动推导系统的数学模型，进行仿真计算直至输出仿真结果，这对进行液压系统动态特性数字仿真的设计分析

人员来讲,将会感到很大的方便。

本书可用作“机械制造”、“流体传动与控制”以及机械类其它专业本科生和研究生有关课程的教材或教学参考书,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

本书由刘能宏、田树军二人合作编写。刘能宏写第一、二、三章及 § 5-3 节、§ 5-4 节,田树军写第四、六章及 § 5-1 节、§ 5-2 节。

本书在编写过程中,得到学校、出版社、机械工程系和教研室有关同志的大力支持,谨在此表示衷心的感谢。

本书如能对国内同行在教学、科研、生产中有所裨益,即达到作者编写该书之初衷,但由于作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请同行和读者批评指正。

刘能宏
于大连理工大学
1992. 10

目 录

第一章 液压系统动态特性概述

§ 1-1 动态特性分析在液压系统设计中的作用	1
一、液压系统正常工作应满足的要求	1
二、液压系统的动态过程	2
三、动态特性分析在液压系统设计中的作用	6
§ 1-2 液压系统动态特性研究的内容和方法	9
一、液压系统动态特性研究的内容	9
二、液压系统动态特性研究的方法	10
三、液压系统动态特性研究的复杂性	16
§ 1-3 影响液压系统动态特性的因素	17
一、机、电、液系统中的影响因素及其相似性	18
二、复合作用元	26
三、进行液压系统动态分析时应如何考虑其影响因素	29

第二章 功率键合图建模方法

§ 2-1 功率键合图的意义、作用和构成元素	31
一、功率键合图的意义	32

二、功率键合图的作用 33

三、功率键合图的构成元素 35

§ 2-2 功率键合图的绘制 50

一、对所研究系统的必要分析 50

二、绘制功率键合图 55

三、有关功率键合图几个问题的分析 60

§ 2-3 典型功率键合图举例 63

一、先导式溢流阀调压系统的功率键合图 64

二、液压管道的功率键合图 68

三、双泵供油回路的功率键合图 71

四、阀控缸系统的功率键合图 74

第三章 系统数学模型

§ 3-1 从功率键合图推导状态方程 78

一、确定状态变量和输入变量 78

二、推导状态方程的步骤 80

三、状态方程的物理意义 82

§ 3-2 确定状态方程中的各量值 83

一、确定状态方程中的参量值 83

二、确定状态方程中的输入量值 86

三、确定状态变量的初始值 87

四、确定引起系统动态过程的输入信号 88

五、必要的约束条件 90

六、确定输出变量 91

七、状态方程的形式	93
§ 3-3 功率键合图的不同结构类型及其对建模操作的影响 ..	95
一、标准型键合图	96
二、非标准型键合图	101
三、具有混合因果关系的键合图	107
四、不合理的键合图	115
五、几点结论	120
§ 3-4 功率键合图的结型结构	122
一、结型结构的基本概念	123
二、场方程、结型结构方程和系统状态方程	127
三、结型结构应用实例	138
四、几点结论	149
§ 3-5 液压系统中常见的时变非线性因素	150
一、时变非线性阀口液阻	150
二、可变液容	160
三、库仑摩擦力	163
四、系统中存在时变非线性因素时的处理方法	166

第四章 数字仿真程序设计中的典型问题

§ 4-1 数字仿真程序的基本模式	168
§ 4-2 数值计算方法及其选择	178
一、数值积分法的基本原理	178
二、数值积分法的一些基本概念	180
三、龙格-库塔法	183

四、其它常用数值积分法	186
五、计算方法的选择	193
六、计算步长的确定	196
§ 4-3 时变参数的处理	200
一、时变液导	202
二、时变作用力	203
三、时变液容	205
四、其它时变参数	206
§ 4-4 约束条件问题	207
一、设置约束条件的目的	207
二、约束条件的编程处理方法	208
§ 4-5 优化问题	210
一、人工控制调整参数的优化	210
二、程序自动控制调整参数的优化	216

第五章 液压系统建模与数字仿真实例

§ 5-1 先导式溢流阀调压系统	221
一、功率键合图	222
二、系统状态方程	223
三、非标准型键合图结构及其建模处理	227
四、仿真结果分析	230
§ 5-2 复杂非线性液压调速系统	233
一、系统组成结构与功率键合图	234
二、仿真结果分析	239

§ 5-3 液压凿岩机冲击机构	242
一、系统功率键合图及模型特征	243
二、系统状态方程及其仿真求解	247
三、影响因素的分析与结论	251
§ 5-4 闭中心液压负载敏感系统	252
一、负载敏感系统组成及工作原理	253
二、系统分析及功率键合图	258
三、仿真结果分析	265
 第六章 自动建模和液压系统通用仿真软件开发	
§ 6-1 概 述	274
§ 6-2 键合图模型数字化描述语言	278
一、键合图模型数字化的概念与描述语言	278
二、键合图描述语言的主要组成成分及规则	279
三、参量描述段的设置	282
§ 6-3 自动建模的实现过程	283
一、键合图文件的语法和语义检查	283
二、键合图文件的格式化处理及建立特征矩阵	284
三、结点方程	287
四、数学模型-状态方程的自动生成	292
五、其它模型模块的自动生成	296
六、自动建模实例	297
§ 6-4 非线性模型库与非线性模型的自动生成	300
一、非线性模型库的基本特点	300

二、非线性模型库的数据结构	301
三、非线性模型库的容量与规模	302
四、非线性模型库应用程序设计	303
§ 6-5 非标准型键合图的自动建模处理方法	307
一、非标准型键合图特征分析	307
二、采用非独立变量法实现非标准型键合图的自动建模	309
§ 6-6 SIM-1 液压系统动态特性数字仿真通用软件	311
一、软件系统的基本结构与功能	312
二、应用实例	316

第七章 基于 Modelica 语言的多领域统一建模与仿真

§ 7-1 多领域统一建模与仿真技术概述	321
一、多领域系统的动态结构及其复杂性	321
二、多领域统一建模与仿真的基本方法	322
三、Modelica 仿真语言与键合图方法的结合	324
§ 7-2 Modelica 语言基础及其建模特点	325
一、Modelica 模型结构及构成要素	326
二、Modelica 语言的建模特点	338
三、基于 Modelica 语言的建模仿真集成开发平台	343
§ 7-3 基于 Modelica 语言的功率键合图自动仿真技术	348
一、键合图建模的面向对象特性	349
二、Modelica 建模与功率键合图建模连接机理的异同	350
三、基于 Modelica 语言的功率键合图库开发	354

§ 7-4 功率键合图模型自动仿真实例	367
一、典型工程机械回转驱动机构系统原理图	368
二、系统功率键合图	370
三、仿真结果及分析	375
附 录	380
附表一 机、液、电参量对照表	380
附表二 功率键合图中常用的变量	382
附表三 功率键合图中常用的符号	384
主要参考文献	386