

液压系统动态仿真工作中的 优化方法*

马胜钢 马胜天

(郑州工学院) (中州大学)

摘 要: 本文着重研究了把液压系统动态仿真与优化技术结合起来, 自动寻找系统中各参数之间最佳组合的方法, 分析了在应用该方法时所遇到的关键问题, 提出了解决的办法, 最后给出了一个应用实例。

关键词: 目标函数, 仿真, 优化

中图分类号: TH137

随着工业技术的不断发展, 对液压控制系统动态性能的要求越来越高。应用数字仿真技术对液压系统和元件的动态特性进行理论分析和研究是一种切实可行的方法。由于系统仿真本身不具有优化功能, 每次仿真的结果只能给出系统的一组解, 多次改变仿真的输入条件也只能得出某些参数分别对系统性能的影响结果。然而实际系统中影响性能的因素是综合性的, 各个参数之间互相影响、相互制约。如何定量选择和组合系统中的各个参数, 使系统整体性能达到最佳, 这里面存在着优化的问题。仅仅依靠人工不断改变仿真的输入条件进行多次仿真、或依靠实际做实验的方法来寻优, 费工费时, 而且难以解决这类问题, 把系统仿真和优化技术结合起来, 在计算机上进行自动寻优是一个经济可行的方法。笔者在解决插装式溢流阀先导阻尼网络各孔径最佳匹配的问题时, 探索了这个方法, 取得了较好的效果。在应用该方法时所遇到的关键问题和解决办法、分析介绍如下。

1 液压系统动态响应目标函数的确定

如何建立液压系统最佳性能的目标函数, 是当前国内外探索较多的一类问题。对于同一个研究系统, 当选择不同的目标函数寻优时, 得到的最佳参数组合方案就不同。必须选择一个真正的能够评定系统性能优劣的目标函数, 才能得到系统中各参数正确的最佳组合方案。值得注意的是, 要找出一个能够综合描述液压控制系统静动态特性的目标函数是困难的, 解决的方法是在进行动态性能优化时, 把重要的影响静态性能的指标参数作为约束

* 收稿日期: 1995-01-15

条件。描述控制系统动态响应的指标有多个, 综合各指标的目标函数形式有几种, 如加权因子法、制定误差准则等等, 它们各有特点。下面以常用的溢流阀系统为例说明这些方法的应用。

溢流阀系统动态响应的主要性能指标有三个: 上升时间 t_r 、过渡过程时间 t_s 、超调量百分比 $\delta\%$ 。这三个参数之间密切相关、互相矛盾, 影响它们的参数各不相同, 综合考虑它们是非常必要的。

用加权因子法的基本思想是根据实际系统对其响应要求的侧重点分别对响应的特征指标进行加权, 其目标函数的形式:

$$J(t_r, t_s, p) = k_1(p_i - p_o) + k_2 \cdot t_r + k_3 \cdot t_s$$

其中: k_1 、 k_2 、 k_3 分别为加权因子;

p_i ——为实际压力;

p_o ——为理想压力, (参考图 1)。

这种方法的特点是直观, 但计算较复杂, 加权因子的选取较难掌握。

用制定误差准则来控制系统动态响应的综合性能指标是合理的。它的依据是: 控制系统的理论输出与实际输出之差的某个函数(或权函)的积分, 这些积分是参数的函数。其表达式有多种, 下面这种形式较好:

$$J(p) = \int_0^u |p_i - p_o| \cdot t \cdot dt$$

其中: p 是各个参数的函数

它是目前综合描述系统动态性能比较有效的目标函数。实践证明, 把该式做为溢流阀系统动态响应的目标函数是可行的, 该式在数字计算机上容易实现, 用该式求出的最佳组合方案可使系统具有很好的稳定性、超调量小、响应时间快。具体的表达式可写成:

$$J(x_1, x_2, \dots, x_n) = \int_0^u |p_i(x_1, x_2, \dots, x_n) - p_o| \cdot t \cdot dt$$

其中: (x_1, x_2, \dots, x_n) 为结构可变参数。

它的几何意义可用图 1 来解释: 即要寻找一组合适的参数 (x_1, x_2, \dots, x_n) , 在该组参数下, 系统响应曲线 $p_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$, ... 与理论输出曲线 p_o 之间的误差最小。

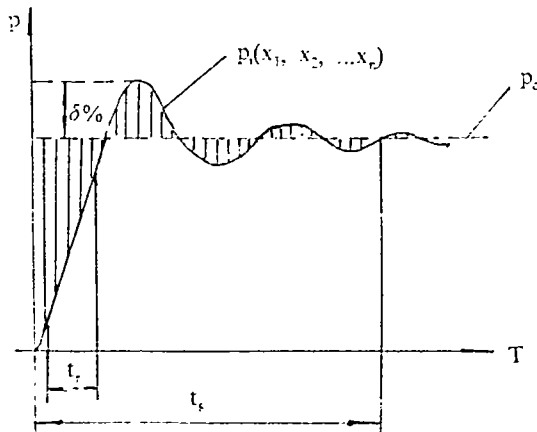


图 1

2 液压系统仿真模型与结果分析

仿真模型是对实际系统的模仿运行软件, 它是寻优的基础, 在建立仿真模型过程中应注意几个问题: ①数学模型就是对实际系统的一种抽象的、本质的数学描述, 在描述过程中必然存在着对系统的简化、忽略次要因素和建立反映系统各主要因素之间的逻辑关系及数学关系等工作。每个工作环节的准确性直接影响到仿真模型的真实性和可靠性。②在数

字计算机上求解该数字模型时, 必须用一种适应性广、数值计算稳定的方法, 以解决在优化过程中各参数变化范围大而带来的不稳定问题。③在模型中所用到的各个系统参数应该被精确的测量到, 它影响着仿真结论的精度, 也是确立仿真模型能否代表真实系统的关键因素。该项工作是建模中比较困难的环节, 随着现代测试技术的不断发展, 这一问题能得到较好的解决。④所用仿真模型还必须在实际系统中经过实验验证, 要求仿真结果与实际系统的特性能足够精确地吻合。

研究和分析仿真结果是选择优化算法的重要依据。由液压系统的固有其本质的数学模型的求解方式所决定, 一般液压系统动态仿真结果有几个典型特征: 第一, 每次仿真的结果为一系统离散值, 这些值之间不易用解析式表达。第二, 每次仿真的结果随结构参数的不同而改变, 结构参数的变化与仿真结果的变化之间无法用解析式表达, 其间的变化形态难以估计。第三, 每次仿真结果的约束条件都存在着非线性问题。

3 优化算法确定与寻优结果分析

从以上仿真过程和仿真结果的分析中可以看出要选择的寻优算法应该是一种直接的、能够解约束非线性问题、且对于函数形态适应性较广的算法。复合形法就是一个比较合适的方法, 其算法的基本思想来源于非线性规划的单纯形法, 相当于在可行域内使用单纯形法。该算法是一种直接搜索的方法, 它只用到目标函数值, 适用于没有解析表达式的寻优问题和约束非线性问题。该算法只假定目标函数连续, 故可用于形态较差的目标函数。该算法应用范围广、方法直观、编程容易、可靠性强。

应用复合形法对液压系统各参数寻优时应注意几个问题。首先一般液压系统是非线性系统, 对非线性系统(函数)优化时就有可能求出的解仅是局部最优解, 所以多次改变初始值、反复进行优化运算、经过总体比较才可得出全局最优解(即真正的最佳结果)。实践证明这一措施非常有效。第二, 在寻优过程中常常进行的是多变量寻优, 因此得到的最佳组合参数有可能不止一组, 而是多组, 根据实际情况选择其中一组即可。第三, 注意到液压系统实际工作中的精度要求和所用算法的计算特点(接近目标值时其收敛速度甚慢), 对优化结果的误差精度不宜选得很高。第四, 对目标函数最优解的检验是为得到最优结果而进行分析判别的重要步骤, 通过对寻优过程进行分析和与原方案进行比较才能判断结论是否为真。第五, 考虑到一般单位所拥有的计算机的运算速度有限, 应用该方法寻优时, 如果优选的参数太多, 必然导致寻优时间很长、费用较高, 因此选择对系统动态特性影响较大的主要参数来进行优化是可行的方法, 具有较好的效果。

4 优化程序框图

见图2, 在编制复合形法优化程序时, 关键是要找到系统数字仿真与优化方法的结合点, 自动优化仿真输入参数, 使仿真结果最佳。要注意减少计算量, 尽量做到所编程序的适应面宽, 才能取得满意的结果。

5 应用实例

在插装式溢流阀系统中, 影响其动态特性的因素较多, 最重要的是该阀的先导阻尼网络中各孔径的匹配 (如图 3)。实际工作中常常需要通过改变各孔径的参数来弥补一些因阀本身设计和加工误差或系统某些缺陷所造成的系统性能不足, 使阀和系统达到更好的工作效果。我们把该网络中的孔径 dR_4 、 dR_5 的最佳组合作为优化对象是经济可行的。实际阀中的 R_6 常为固定阻尼孔。笔者按前述方法进行此项工作。首先对所研究的系统建立仿真模型。为了验证该模型, 笔者在多种输入条件和变换结构参数下分别对所研究的实际系统进行了现场实验, 经微机测试系统检测, 证明仿真结果与实际系统的特性能足够精确地吻合 (即具体数值对比中, 各项误差均较小)。把验证后的仿真模型编入到优化程序中, 该程序在 486 微机上运行。寻优过程中仿真的输入条件: 系统的调整压力为 13Mpa; 输入流量 250L/min; 20 $^\circ$ 液压油……等, 寻优的主要过程见表 1。

从表中可以看出, 在整个寻优过程目标函数值呈不断下降的趋势, 由各步的计算值可以判定该过程是一个优化的过程, 优化的方法是正确的。改变初始复合形的顶点 (即改变初值) 其寻优过程相同。用同样条件把优化结果代入实际系统进行实验验证, 其实际系统动态响应的主要指标同优化结果基本吻合 (因篇幅有限, 此结果略去)。综上所述, 说明寻优过程和结果是正确的, 所用算法是切实可行的, 可以作为进一步寻优和分析的依据。

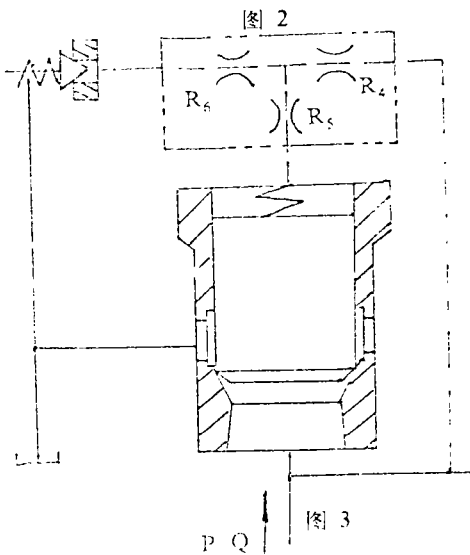
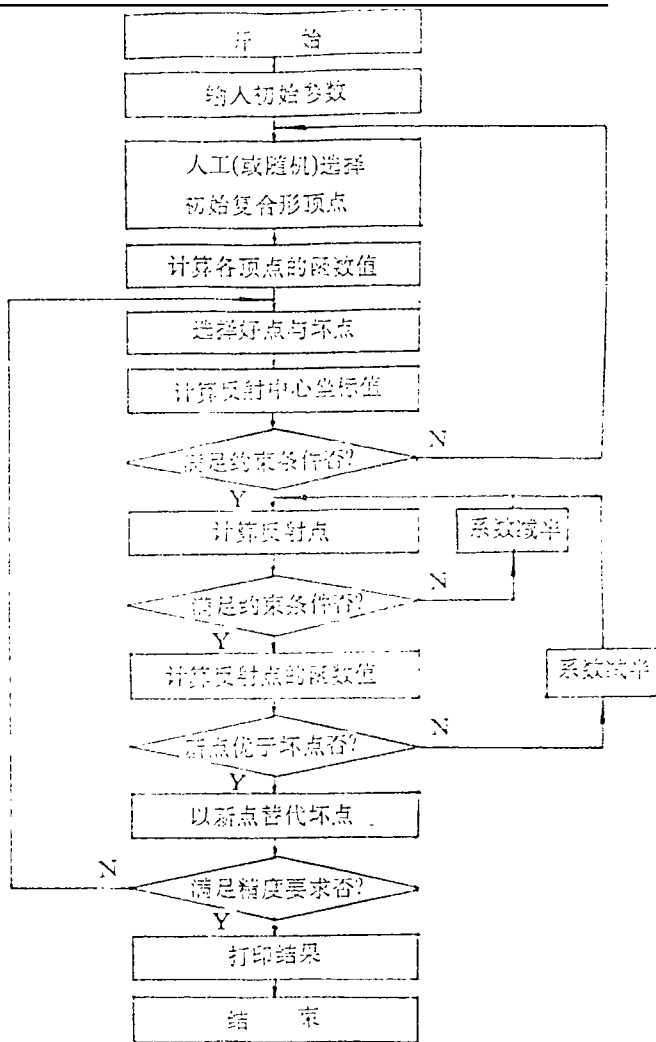


表 1

计算步骤	寻优参数(cm)	超调量(Mpa)	过度过程时间(s)	稳定压力(MPa)	目标函数值(MPas ²)
初始复合形顶点一	dR ₄ =0.1 dR ₅ =0.08	3.77	0.076	13.01	0.2157
初始复合形顶点二	dR ₄ =0.08 dR ₅ =0.08	3.58	0.073	12.86	0.1862
初始复合形顶点三	dR ₄ =0.1 dR ₅ =0.1	2.87	0.063	13.18	0.1628
初始复合形顶点四	dR ₄ =0.12 dR ₅ =0.08	3.84	0.081	13.30	0.3133
...
第三步寻优结果	dR ₄ =0.0817 dR ₅ =0.127	2.14	0.056	12.88	0.1020
...
第九步寻优结果	dR ₄ =0.087 dR ₅ =0.138	1.96	0.047	12.91	0.0921
...
第十二步寻优结果	dR ₄ =0.091 dR ₅ =0.132	2.06	0.058	12.96	0.0737
...
第十四步寻优结果	dR ₄ =0.095 dR ₅ =0.156	1.73	0.0456	13.015	0.060
...
第十八步寻优结果	dR ₄ =0.092 dR ₅ =0.158	1.70	0.0448	12.98	0.0565
...

6 结束语

计算机发展到今天，把仿真与优化技术结合起来对产品进行优化设计或改善系统性能的条件已经成熟。本文所介绍的提高液压控制系统动态特性的优化方法是一种正确、可靠、行之有效的方法。该方法也可用于其它控制系统，它是保证产品质量、提高产品竞争能力的必由之路。

(下转第 11 页)

supervised learning method, the classification of the common faults in the rotating machinery is studied in more detail in this paper. We use the results of the classification to arrive at the purpose of the rotating machinery fault diagnosis. The realizational method of the algorithm is described concretely in the paper. The results of study indicate that the method can overcome some shortcomings of the fault diagnosis technique of the rotating machinery based on the supervised learning method, and is an effective method.

Keywords: neural network, category learning method, rotating machinery fault diagnosis

(上接第5页)

参 考 文 献

- 1 李友善.自动控制原理.国防工业出版社.1980
- 2 唐焕文.实用数学规划导论.大连理工大学自编讲义.1985
- 3 马胜钢.两通插装式溢流阀静态特性的研究与结构参数的优化.大连理工大学硕士论文.1988

The Method of Optimization in the course of Simulating Dynamic Behaviour of Hydraulic Systems

Ma Shenggang Ma Shengtian
(Zhengzhou Institute of Technology) (Zhongzhou Univesity)

Abstract: This paper introduces the method to search automatically for optimal combination among all the parameters by combining optimization with the simulation of dynamic behaviour of hydraulic systems. It also analyses that you come up against some key problems when you make use of this method and put forward the way of dealing with them. Last, one application example is employed to illustrate the method.

Keywords: Objective Function, Simulation, Optimization