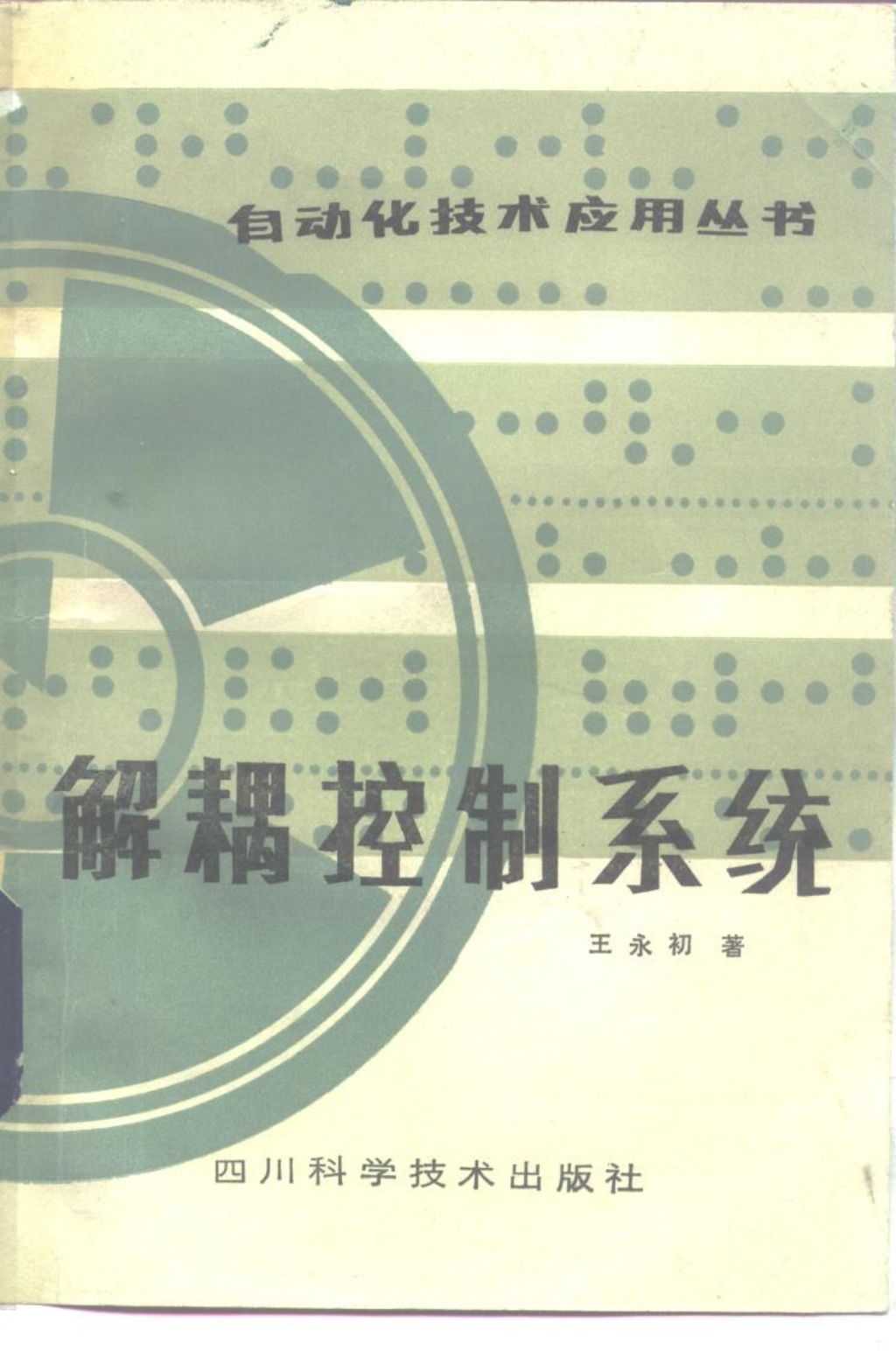




自动化技术应用丛书

解耦控制系统

王永初 著

四川科学技术出版社

16
《自动化技术应用丛书》

解耦控制系统

王永初 著

四川科学技术出版社

一九八五年·成都

责任编辑：崔泽海 周 军

版面设计：翁宜民

自动化技术应用丛书
解 耦 控 制 系 统
王永初 著

出版：四川科学技术出版社
印刷：重 庆 印 制 一 厂
发行：新华书店重庆发行所
开本：787×1092 毫米 1/32
印张：10.75 插页： 1
字数：228
印数：1—3,400
版次：1985 年 12 月 第一版
印次：1985年12月第一次印刷
书号： 15298·73
定价：1.85 元

内 容 提 要

过程控制对象的耦合,是目前许多控制系统投运不好的重要原因,已引起控制理论工作者与系统设计人员的重视。本书系统介绍了著者所提出的解耦理论与实用化方法,包括被控制变量与操作变量配对选择、静态解耦与动态解耦,简化解耦设计方法,解耦模型简化;并列举了国防军工、冶金、发电、炼油化工、造纸、试验设备等方面大量的工程应用实例,作为具体方法应用的说明。

本书可供国防、冶金、发电、炼油化工、造纸、试验设备等自动化专业的大专院校师生与科技工作者参考。

前 言

解耦控制的研究目前已趋于热潮，这是由于军事工业和民用工业对控制的要求而出现的。在我们接触到的许多过程控制系统中，不少系统未能成功的原因就在于对象的耦合，因此工程化解耦方法的研究会比理论性解耦方法的研究更有价值。目前国外研究多变量解耦系统的方法主要有两种：一是利用状态空间的反馈方法来实现解耦；二是利用现代频率法的所谓对角线优势，借助于逆乃魁斯特判据来设计解耦控制系统。从学科的发展来看，这是一些值得重视的研究方向。著者曾较长时间从事这两种解耦方法的应用研究，觉得这些方法在自动化工程中应用相当复杂，大量推广为期尚早。原因是采用这些方法要借助于数字计算机的辅助设计，而且系

统设计的好坏同人们的经验直接有关，更主要的是这些方法物理概念不清楚，并忽视了被控制变量与操作变量配对的选择。辛斯基的解耦方法注意到配对的选择，但没有把经验的方法上升到理论的高度，而且这种解耦仍属于前馈动态解耦的范围，往往导致解耦后对象特性的变化，这种变化通常是难于估计的。

我们通过研究，比较系统地提出一套解耦控制的设计方法，包括配对选择、静态解耦与动态解耦、解耦设计的简化方法、解耦模型的化简，并且在若干自动化工程中得到成功的应用。其特点是简单、实用。本书是根据著者在解耦控制理论的研究和实践的基础上总结而成的，因此同以前的方法相比，本书介绍的方法则有工程化及理论严格性的优点。我们发现一个耦合的对象有时由于配对选择正确，不用解耦仍能正常运行，有时一个复杂的耦合对象，利用简单的静态解耦或部分动态解耦就可以解决问题。著者引用不变性原理提出的简化设计方法，与辛斯基的解耦方法具有本质上的不同，解耦以后对象矩阵的

对角形元素的特性可以保持不变，适宜于向高维多变量系统推广。理论与实践均已证明，这种方法明显地减少了解耦网络支路的个数，大大降低了解耦支路模型的阶次，而且不受耦合矩阵奇异性的影响。即使比较特殊或比较复杂的模型，按照本书提出的在控制状态下的简化模型，在零频（适用于单调的调节过程）状态下简化模型以及三点频率拟合等的方法，都可以使物理上难于实现的模型近似地得到实现。为加深读者对本书方法的理解，书中列举了大量工程应用的实例可供实际工作时参考。

著者希望通过本书的介绍，为读者提供一个解决目前工程中比较复杂系统的一种方法。为了使读者对目前国内解耦研究动态有所了解，在本书的最后一章扼要地介绍状态反馈解耦与对角优势解耦方法，并将这些解耦的方法全盘托出。目的是使读者在系统设计中能有一个较广泛的选择余地，决定其取舍。如果本书对读者能有所裨益，对四化能有所促进，也算是一位默默无闻的，工作在生产科研第一线上的，普普通通的科技人员献

给祖国的一颗赤子之心。成都电讯工程学院周立峰同志在百忙中审阅了本书，并给著者许多帮助，在此表示衷心的感谢。由于著者本人水平不高，经验不足，错误缺点肯定不少，欢迎专家和读者批评指正。

著者

1983年9月

目 录

第一章 概述	(1)
一 耦合是控制工程中普遍存在的现象	(1)
二 解耦控制系统研究的主要内容	(17)
第二章 被控制变量与操作变量的配对选择方法	(27)
一 相对放大系数与系统耦合度的关系	(27)
二 2×2 耦合对象	(31)
三 3×3 耦合对象	(45)
四 4×4 耦合对象	(59)
五 相对放大系数定理	(68)
六 动态相对放大系数	(85)
第三章 典型的解耦设计方法	(95)
一 对角形解耦方法	(95)
二 改变目标矩阵的解耦方法	(147)
三 解耦的奇异性问题	(175)
第四章 解耦系统的简化设计方法	(181)
一 不变性原理的应用	(181)
二 解耦模型的简化	(201)

第五章 解耦理论的应用.....	(251)
一 磨煤机制粉系统的设计与分析.....	(251)
二 多台并联运行除氧器压力解耦控制系统的设计 分析.....	(272)
三 造纸过程的秤重与水分解耦控制.....	(281)
第六章 状态反馈解耦与对角优势解耦方法.....	(293)
一 状态解耦方法.....	(293)
二 对角优势的解耦方法.....	(309)
参考文献	(331)

第一章 概 述

一、耦合是控制工程中普遍存在的现象

耦合是生产过程控制系统普遍存在的一种现象。因为生产过程都是一环扣一环地协调进行工作，一个过程变量的变化必然会波及到其它过程变量的变化，这种现象称为耦合。在一个多变量的控制系统中，称一个被控制变量只受一个操作变量影响的对象为无耦合对象。如果对象存在耦合，会明显地降低控制系统的调节品质，在耦合严重的情况时会使各个系统均无法投入运行^[1]。分析目前许多难于投入运行的系统，不少是耦合的原因造成的，尤其是国防工业或航天方面的控制，这类系统的研究都有重要的意义。其它工业由于目前大型工厂的开发，对控制系统的设计要求也越来越高。以下略举数例说明这类对象研究的普遍意义。

1. 国防方面的飞行控制

如涡轮螺旋桨发动机控制系统，被控制变量有两个^[2]： C_1 为电机速度， C_2 为涡轮入口温度。操作变量有两个： m_1 为螺旋桨叶片的角度， m_2 为燃料流量。 m_1 的改变对 C_1 与 C_2 同时发生影响，同样， m_2 的改变也同时对 C_1 与 C_2 发生影响。人们称被控制变量与操作变量在调整过程互相影响的对象为耦合对象，图 1-1 表示涡轮螺旋桨发动机的耦合对象方框图。这是一个 2×2 的耦合对象，由图中知道 C_1 、 C_2 与 m_1 及 m_2 有如下

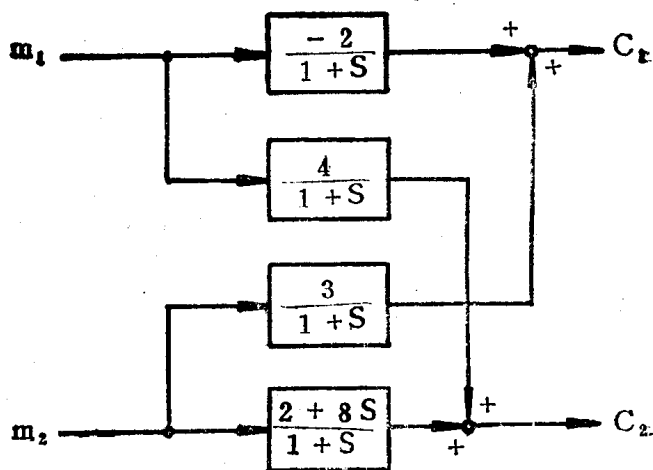


图1-1 涡轮螺旋桨发动机的耦合对象方框图

关系:

$$\frac{C_1(s)}{m_1(s)} = \frac{-2}{1+s} \quad (1-1a)$$

$$\frac{C_1(s)}{m_2(s)} = \frac{3}{1+s} \quad (1-1b)$$

$$\frac{C_2(s)}{m_1(s)} = \frac{4}{1+s} \quad (1-1c)$$

$$\frac{C_2(s)}{m_2(s)} = \frac{2+8s}{1+s} \quad (1-1d)$$

如果采用 C_1-m_1 、 C_2-m_2 构成两个单独的单回路控制系统，则两个系统在控制过程形成互相干涉振荡，结果两个系统都控制不好。

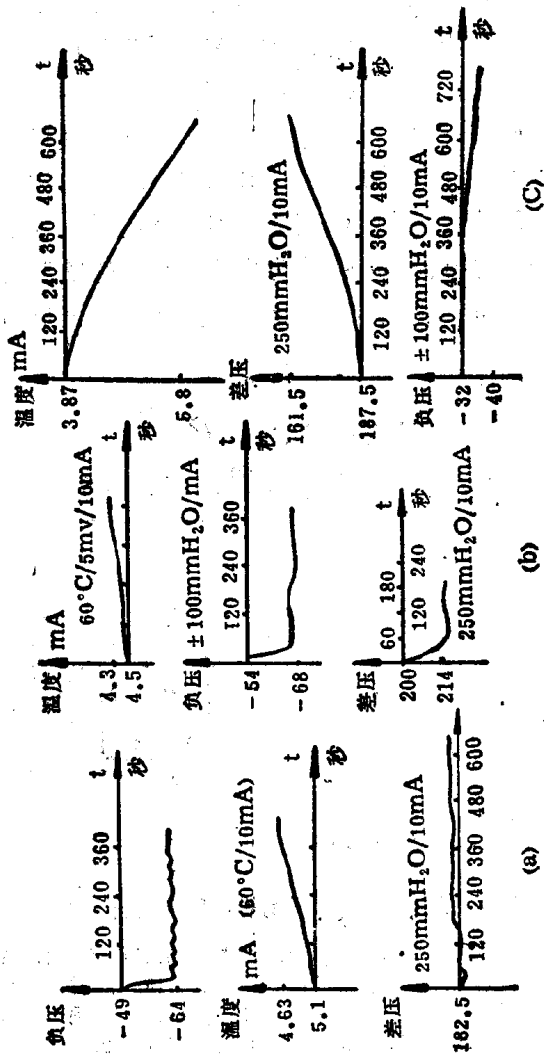


图1-3 制粉系统三个被控制变量的阶跃响应曲线

置； m_2 为热风的送风量； m_3 为二次循环门的开度（引风量）。这是一个 3×3 的耦合对象。为了解对象的这些被控制变量与操作变量的内部联系，利用飞升法测得一组对象的阶跃响应曲线如图 1-3 所示。根据阶跃响应曲线，可以求出各个被控制变量与各个操作变量的关系，这些关系由图 1-4 耦

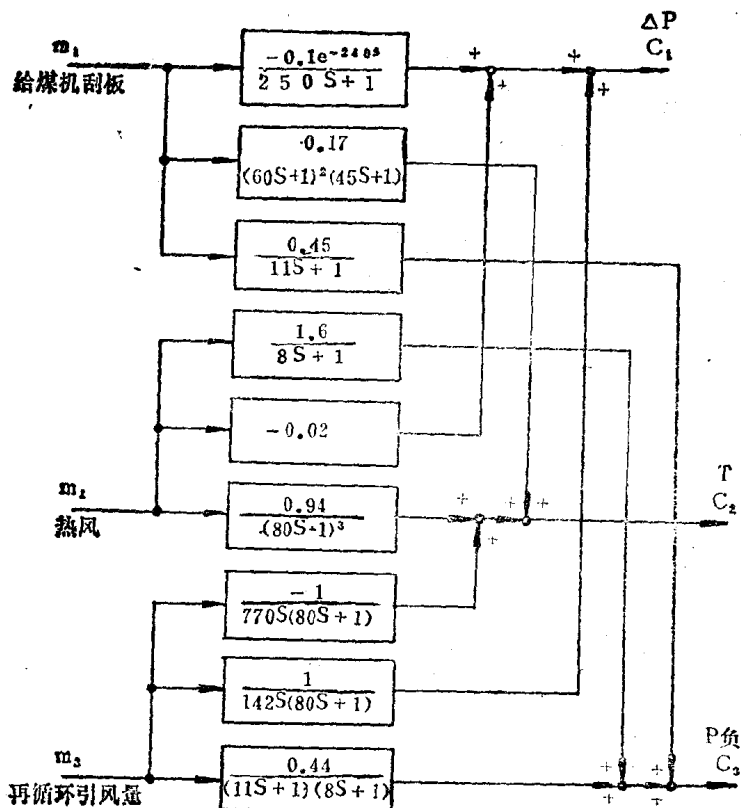


图1-4 某制粉系统的耦合对象内部联系方框图

合对象内部联系的方框图表示。从图 1-4 的耦合对象内部联系方框图知道，假如操作 m_1 ，除了 C_1 变化以外， C_2 与 C_3 也会发生变化，操作 m_2 ，除了 C_2 变化以外， C_1 与 C_3 也会发生变化。同样，操作 m_3 对 C_1 、 C_2 与 C_3 都发生影响，所以，这个对象是一种典型的耦合对象。

(2) 母管并联多台除氧器的压力控制系统^[3]

电厂的锅炉给水，在送至锅炉之前，需要除去软水中的含氧，以免使设备产生严重的腐蚀。除氧器是除去软水中含氧的设备。目前普遍使用的除氧器有两种，一种是低压除氧，另一种是高压除氧。其原理都是通入一定量的蒸汽将软水加热，由于软水的温度升高而释放出水中的含氧量。图 1-5 表示的是高压除氧器的工艺设备。在图 1-5 中，四台除氧器都要求通过控制由汽轮机排出的乏蒸汽流量，将该台除氧器的压力维持在 5.0 标准大气压的压力下。由于安全生产的需要，四台高压除氧器均有母管连通联系，在 5.0 标准大气压的压力下，一边进水，一边出水。进入除氧器的是高含氧的软水，出除氧器的是低含氧的软水。容器的压力本来是一种非常容易控制的对象，因各个除氧器均互相连通，调节一个除氧器的压力会影响到另外三个除氧器压力，结果形成各系统间的干涉振荡，这样四个压力控制系统就无法同时投入运行。图 1-6 表示四台除氧器压力同时投入运行的记录曲线。生产要求压力控制的范围为 5.0 ± 0.2 标准大气压。显然，波动范围大大超出生产所允许的范围。因此，按单独回路设计的系统无法投入运行。

3. 在化工方面

在化工方面，耦合对象更不乏其例，如，

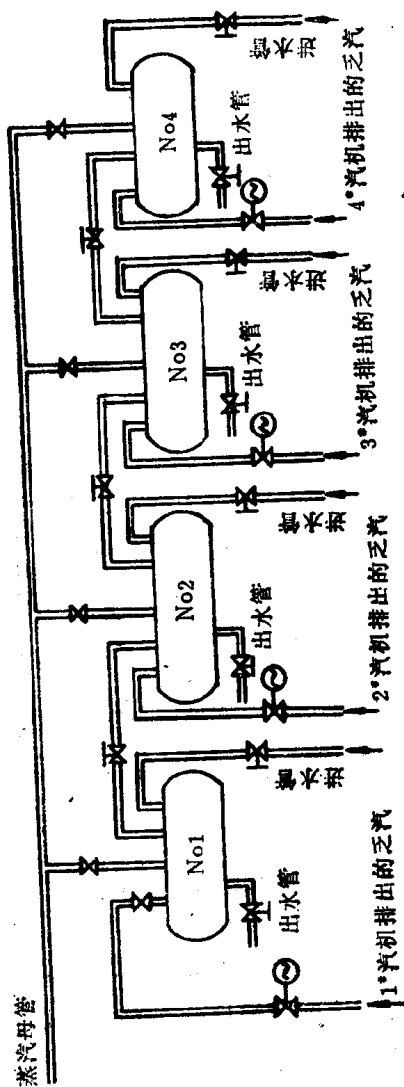


图1-5 四台母管并联除氧器的工艺设备