

# 热体积模锻 工艺过程设计 最优化 和自动化原理

[苏] Г. П. 捷捷林 П. И. 波卢欣合著

肖景容 李德群 译

国防工业出版社

# 热体积模锻工艺过程设计 最优化和自动化原理

〔苏〕 Г. П. 捷捷林 П. И. 波卢欣 合著

肖景容 李德群 译

国防工业出版社

## 内 容 简 介

书中分析了在研究模锻过程、工艺设计算法化、自动化和最优化时运用了数学方法和电子计算机的科学-方法学原理。列举了在自动化设计系统中用作工艺算法的有科学根据的规则。扼要地描述了自动化设计系统和采用系统的实验。

本书供金属压力加工部门和从事建立自动化设计系统的工程技术人员参考。

ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ  
Г. П. Тетерин, П. И. Полухин  
МАШИНОСТРОЕНИЕ 1979

热体积模锻工艺过程设计最优化和自动化原理

〔苏〕 Г. П. 捷捷林 П. И. 波卢欣 合著

肖景容 李德群 译

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张9<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 240千字

1983年7月第一版 1983年7月第一次印刷 印数：0,001—3,300册

统一书号：15034·2485 定价：1.20元

## 序 言

机械制造业的高速发展和与此有关的模锻工艺应用范围的扩大，锻件和制品种类的显著增加，迅速掌握大批优质新型锻件生产的必要性，锻件制造费用的降低——这些都需要根本改变模锻生产的工艺准备系统，即利用电子计算机实现设计过程的自动化和最优化。

模锻工艺过程应由熟练的专家来制定。制订工艺过程非常费力，乃至在中等批量特别是小批量生产时不制定详细的工艺过程。

应用电子计算机来设计热模锻工艺过程和锻模结构、计算设备负荷的最优方案，可以大大缩短生产准备周期，排除了工艺师在设计中的主观错误，并能借助于有科学依据的资料，按专门方法和不同复杂程度的精确公式算出过程的所有参数。

自动化设计能在很短的时间内算出几十种，如果需要的话，甚至数百种不同的方案。并且排除了手工设计时可能出现的错误，这些错误只在投入生产时才能发现。

利用经济-数学模型和最优化方法，能够借助电子计算机，对模锻过程参数的最佳组合和考虑到设备合理负荷对所有过程进行选择，以提高自动化设计的效果。

但是建立自动化设计系统是很复杂的过程，由于缺乏经验和建立这种系统的理论和方法，直到不久以前仍需花费大量的劳动和时间。

模锻生产工艺准备自动化系统的设计，需要综合研究模锻过程、建立设计原则的严整体系，以保证显著地提高锻件生产效率。为了建立计算模锻过程参数的科学方法，对模锻过程的研究进行了大量的理论和实验工作。但是用传统方法并不能建立排除主观

设计错误的模锻过程设计原则的可靠体系。运用控制论的手段和方法以及应用数学的方法（运筹学理论、数理统计等），对热模锻过程进行研究和数学描述，不仅能建立设计的客观基础，而且能控制设计过程，以便寻求工艺过程的最优方案。

# 目 录

## 第一篇 建立热模锻件生产

### 工艺准备自动化系统的科学-方法学基础

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 第一章 生产技术准备自动化系统设计的方法学概念 .....          | 2  |
| 1. 建立设计工作自动化系统的基本原则 .....              | 2  |
| 2. 建立工艺设计自动化系统的各个阶段 .....              | 9  |
| 3. 模锻工艺过程的算法化和数学模拟方法 .....             | 12 |
| 第二章 建立自动化设计系统算法时的数理统计方法 .....          | 16 |
| 1. 制定工艺算法时采用统计方法的方法学概念 .....           | 16 |
| 2. 统计的规律性与统计分析的任务 .....                | 18 |
| 3. 线性回归问题 .....                        | 21 |
| 4. 相关分析方法 .....                        | 29 |
| 5. 统计关系线性化方法 .....                     | 32 |
| 6. 摹状随机模型 .....                        | 36 |
| 第三章 建立自动化设计系统优化模型的运筹学方法 .....          | 38 |
| 1. 设计过程优化中采用运筹学的方法学原理 .....            | 38 |
| 2. 自动化设计系统链摹状模型的建立 .....               | 44 |
| 3. 自动化设计系统标准模型的建立 .....                | 48 |
| 4. 考虑到约束的随机特征的优化 .....                 | 53 |
| 5. 考虑到目标函数和约束的随机特征的优化 .....            | 54 |
| 6. 数学模型的分级联合 .....                     | 57 |
| 第四章 在热模锻生产中设计自动化与最优化工作的状况与发展前景 .....   | 62 |
| 1. 回转形锻件工艺过程和锻模的单个设计 .....             | 62 |
| 2. 回转形锻件工艺过程和锻模的分组设计 .....             | 66 |
| 3. 复杂形锻件工艺过程和锻模的单个设计 .....             | 68 |
| 4. 根据分组加工方法设计工艺过程和锻模 .....             | 78 |
| 5. 在数控设备上制造锻模用的程序准备自动化 .....           | 80 |
| 6. 技术-经济计算的自动化、锻造车间和模锻工艺过程设计的最优化 ..... | 81 |
| 7. 在热模锻生产中自动化设计方法的发展远景 .....           | 83 |

## 第二篇 热体积模锻过 程自动化设计系统的工艺算法

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 第五章 锻件和毛坯形状复杂程度的定量估计 .....                | 90  |
| 1. 锻件按形状分类法的分析 .....                      | 90  |
| 2. 圆盘类锻件的形状复杂性标准 .....                    | 94  |
| 3. 直长轴锻件横截面形状复杂性标准 .....                  | 100 |
| 第六章 计算飞边的算法研究和数学描述 .....                  | 116 |
| 1. 飞边计算方法的分析 .....                        | 116 |
| 2. 计算飞边槽桥部尺寸的算法 .....                     | 123 |
| 3. 计算飞边金属消耗的算法 .....                      | 130 |
| 4. 采用新方法计算飞边的实验 .....                     | 136 |
| 第七章 计算毛坯尺寸和型材下料算法的研究和数学描述 .....           | 147 |
| 1. 圆盘类锻件在锤上和曲柄热模压力机上模锻时计算锻粗后毛坯尺寸的算法 ..... | 147 |
| 2. 在剪切压力机上下料时计算金属消耗定额的算法 .....            | 153 |
| 第八章 计算锻模寿命的算法研究和数学描述 .....                | 159 |
| 1. 锻模寿命评价方法的分析 .....                      | 159 |
| 2. 计算锤锻模寿命的算法 .....                       | 163 |
| 3. 计算压力机锻模寿命的算法 .....                     | 170 |
| 4. 将所得结果与其它研究资料进行比较 .....                 | 171 |
| 第九章 计算模锻和剪切时间定额算法的研究和数学描述 .....           | 176 |
| 1. 模锻和剪切时间计算方法的分析 .....                   | 176 |
| 2. 计算回转形锻件在锤上和曲柄压力机上模锻时间的算法 .....         | 185 |
| 3. 计算在压力机与剪床上剪切毛坯时间的算法 .....              | 197 |

## 第三篇 热体积模锻工艺过程设计自动化系统

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 第十章 回转形锻件在锤上和曲柄热模锻压力机上<br>的模锻工艺过程最优化 方案的设计自动化系统 ..... | 206 |
| 1. 回转形锻件模锻工艺过程设计的综合自动化系统 .....                        | 206 |
| 2. 最优化问题的提出 .....                                     | 212 |
| 3. 建立过程的数学-经济模型 .....                                 | 215 |
| 4. 改变模锻过程参数使模锻过程最优化 .....                             | 220 |
| 5. 改变工艺算法参数使模锻过程最优化 .....                             | 225 |
| 第十一章 回转形锻件在卧式锻造机上模锻<br>的工艺过程设计自动化系统 .....             | 228 |
| 1. 问题的提出 .....                                        | 228 |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 2. 在卧式锻造机上模锻的回转形锻件的分类 .....            | 229        |
| 3. 锻件设计的算法 .....                       | 230        |
| 4. 工步计算的算法 .....                       | 233        |
| 5. 系统的工作 .....                         | 237        |
| <b>第十二章 直长轴锻件锤上模锻工艺过程设计自动化系统 .....</b> | <b>242</b> |
| 1. 问题的提出 .....                         | 242        |
| 2. 计算锻件直径图的算法 .....                    | 246        |
| 3. 计算模锻工步的算法 .....                     | 254        |
| <b>第十三章 选择模锻设备负荷最优化方案的自动化系统 .....</b>  | <b>267</b> |
| 1. 问题的提出 .....                         | 267        |
| 2. 热体积模锻工艺过程扩大设计的工艺算法 .....            | 269        |
| 3. 用条件优化设计方法解决线性规划问题 .....             | 276        |
| 4. 用统计优化方法解决线性规划问题 .....               | 282        |
| 5. 非线性规划问题的解 .....                     | 286        |
| 6. 采用选择设备负荷最优化方案自动化系统的实验 .....         | 290        |
| <b>文献目录 .....</b>                      | <b>293</b> |

# 第 一 篇

建立热模锻件生产工艺  
准备自动化系统的科学-方法学基础

# 第一章

## 生产技术准备自动化系统设计的方法学概念

### 1. 建立设计工作自动化系统的基本原则

设计工作自动化系统 (САПР) 是自动设计、构造和生产工艺准备的系统, 即广泛运用经济-数学方法和电子计算机, 合理地 and 自动地获得各种过程、技术项目和系统 (包括工厂、车间、机器、工艺过程、装置等) 的设计方案和技术文件 (草案)。

建立 САПР 的主要目的在于提高工程师的劳动效率 (节省时间、提高被研制的产品质量)。

自动化最主要的成果之一是缩短了设计期限。由于现代技术项目的复杂性, 往往吸收不同行业的技术人员集体设计。所以使互相配合的设计常常被拖延, 这样就使得设计中所引用的原始资料过时了。设计期限是对加快技术进步有重要影响的一个参数, 从这一观点来看, 发展设计自动化是一个最迫切的任务。

在大批量生产的条件下, 依靠技术-经济分析和选择最优方案来提高设计质量也是一个重要问题。

САПР 能在各种不同的设计机构和部门中广泛推广最先进的方法、定额的和标准的参考资料、设计方案的最优化方法。

将现行的设计系统转变成自动化设计系统, 是一个复杂的和长期组织技术的过程。

由于在工厂里和设计机构里出现了电子计算机、开始建立了企业管理自动化系统 (АСУП), 设计自动化工作在五十年代末

期首先应用于结构和工艺计算。开展这些工作的或者是在个别的大学里、在设计局和工厂里的总设计师处、工艺师室和冶金师室等等，或者在 ACYII 中生产技术准备的管理子系统内。在许多企业和机构里，解决了大量的工程问题，如零部件和单个机构的模拟和计算，工具、锻件、锻造工艺过程、热模锻、切削加工的设计，工作制度和时间定额的计算，材料的消耗等。

分析前几年的设计自动化工作，可得出这样的结论：这些工作基本上是具有局限性的，它们只是实现个别的、局部的设计任务自动化，完成这些工作也只是靠各个单独的小组，没有足够配合和相互联系，无法保证方法、情报和数学的一致性。这样，在不同企业采用这些程序时遇到了困难，且无法把各个独立程序合并成一个系统。

在建立自动化设计系统方面的第一批成果及其在不同工厂里试验和工业应用的结果，都证明了在生产技术准备方面，采用电子计算机的可能性和合理性。同时也暴露了一些妨碍自动化设计方法在工业上广泛应用的重要缺点：

1) 在大多数解决局部课题的程序之间几乎没有联系，它们互不相容，仅对某工厂具体情况下的具体生产有用处，而难于推广到该部门的其它工厂里去；由于要花大量时间用来编码和准备把每一课题的原始资料输入电子计算机，并且需要多次抄写设计和工艺文件中的机器计算结果，因此，各个独立程序和子系统的经济效率不够高；

2) 从适应设计自动化任务的观点来看，在自动化系统中，现有计算机和相应输入输出设备的配套是多种多样的和不固定的，在大多数情况下，它们很难适应设计自动化的任务；机械化和自动化编码、译码的技术手段以及图形仪、显示仪也很少使用；

3) 很少推广解决设计自动化课题的系统方法，缺乏解题的数学保证手段，这种手段能使工艺设计课题编程自动化；设计自动化的很多程序都是由自动代码组成，有些甚至于由电子计算机

4

的机器代码组成，这就限制了在其它机构里引进和运用程序，限制了解决类似问题的程序和其它机构的程序的对接和运用，难于修正系统里的算法和标准参考资料，难于计算具体的生产条件，难于发展和扩充现有自动化设计系统的职能；

4) 对于用电子计算机设计的结构、工艺过程或设备方案，没有充分利用技术-经济的分析和论证方法，没有充分利用寻求最优方案的方法。

在自动化设计工作中应考虑在该部门内生产的特点。而设计自动化方面的大多数现有程序，基本上只能用于单件或小批生产的企业。在这些企业里虽然经常有着大量设计工作，但对于使用电子计算机获得设计文件的要求并不高。

现已推广一种检索型设计方法，即利用信息检索系统。该系统能根据所给特征找出典型的或成组的工艺过程和设备（在电子计算机里贮存着过程和设备的目录），并根据具体条件准确执行。典型和成组工艺过程设计的另一方法是用“综合零件”（комплексная деталь）来划分贮存在电子计算机里的过程。在“综合零件”中联合了所有可能的单元，将这些单元进行组合，便可得到所需零件种类。综合零件的成组工艺过程是与设备和装置结合的工艺工序卡（工艺流程）。决定该组中具体零件的工艺过程，系从制造该零件所必需的工序的成组工艺过程中来选择。在选择工序时利用了形式化的原则（формализованные правила），这些原则确定了零件和工艺过程中各个工序在工艺、结构和生产参数方面的一致性。

在大批量生产的企业中，对设计方案的质量要求很高。例如，在某一工艺过程中甚至减小一点点金属消耗或劳动量，就能在制造几十万、几百万零件时，由于大量采用这一设计过程而得到很大的经济效果。此时必须单独设计（综合）工艺过程和用于被制造零件的装置，要考虑零件形状和尺寸的特殊性和所用工艺装备的可能性，并需使设计方案最优化。将设计过程划分成单元的、

然而而是通用的工序（计算、接纳方案和几何改造等的单元）；其中每一个工序已不依赖于零件特点和设计过程。但是，总合起来的成套单元工序能够保证对任何形状的零件及其工艺要求得到可行方案。

设计工作自动化积累的经验，由于更加完善和高速的通用电子计算机的出现，特别是操作系统、图表资料输入机械化装置、操作显示装置和资料输出装置的发展，以及分析国外在生产工艺准备方面使用电子计算机的经验，所以能够对进一步发展生产技术准备综合自动化的工作提出要求和制定 САПР 的原则。

1) 被设计的系统应该包括范围较广的成套课题，在生产工艺准备过程中，为解决这些课题只对资料进行一次编码，而不需中间过渡性的手工重新编码。

称为完全的自动化设计系统特别有效。这些系统建立在信息描述、方法学、数学、程序和技术方面能保证一致性的基础上，包括了设计工作和生产工艺准备、直至工艺设备的自动控制等各个阶段。此时，所有生产准备过程都视为相互联系的资料改变过程。

将自动化系统划分成许多子系统，并根据一定从属关系的原则来构造这些子系统，这是减少复杂工程项目设计困难的有效手段。这样就能利用小规模和简单项目的自动化，然后把各个子系统联成一个综合系统来建立能力很强的自动化系统。但是在制定系统的各部分时，必须在方法、资料、数学和技术方面保持一致的基础上来建立各个子系统的相互联系，该方法才会有效。

系统处理需要明显分成固定的（不改变的）和变化的（标准和参考资料）系统部分，以便在利用最优组合时保证使系统能适应变化着的生产条件。

2) 设计工作自动化系统应该保证在整个设计阶段里操作资料和周围环境的配合，其中包括和在不同水平上工艺过程自动化控制系统（АСУТП）、控制企业组织的自动化系统（АСУП）、专业的控制系统（ДАСУ）等的配合，并且还应保证使系统适应

于具体的生产条件。

和 АСУТП 配合不仅仅是指直至给出数控机床所需程序的完全设计（零级 АСУТП），而且还要制订出控制工艺项目（控制设备、工业生产）的程序，这个程序能根据工艺过程的进度、结果和进行条件以及在生产过程中引起的工艺误差等信息的反馈自动地修正程序（设计结果）。

某些应用程序包（пакеты）和工艺设计子系统（ППП）能够看成是 АСУТП 的组成部分，因为在控制工艺过程时，必须在每一个规定时刻（在合乎实际的时间范围内），根据设备情况、外部环境、产品质量和其它从传感器送入控制机中的与工艺过程进展有关的资料，设计出新的工艺过程方案或者改变其参数和方式。

和 АСУТП 的配合应保证各种资料（劳动量、主要和辅助材料的消耗、设备的负荷等资料）从设计系统进入企业管理自动化系统中去，以便解决技术-经济计划、材料-技术供应等问题。从 АСУТП 得到车间或企业生产情况的技术-经济参数情报（计划任务、工作时间总额和设备情况、供给工厂的材料等等），它们影响到解决设计问题的结果甚至方法。因此设计系统就能对外部环境的改变产生反应，并使之适应具体的生产条件，也就提高了每个系统的效率。

和专业控制系统配合的目的是使计划优化、各个车间和专业工厂的锻件生产专业化和合作化。

3) 建立 САПР 最重要的原则之一是最大不变性原则，它是由所用的技术手段、文件上、资料上和数学上的保证以及设计方法的形式化、规格化和标准化得以保证的。

顺利地解决生产技术准备自动化方面的问题，在很大程度上不仅依赖于计算机在最短期限内实现所需数学计算的可能性，而且依赖于在自动化设计时所用的通用算法和程序。建立这样的算法和程序是非常麻烦的，这是因为先要将制定工艺和结构时所用的一切标准、建议和计算公式进行系统化和实验验证，同时要专

门研究计算方法的算法化、设计过程的形式化和经济标准的完善化。

形式化工作的目的在于建立企业的设计方法，并在这些方法的基础上制定出对所有企业都必需的设计方法、算法的指导性技术资料 and 标准。这样就有可能为各个不同企业建立一种广泛推广自动化设计所必须的统一系统。系统化和在科学基础上建立的各种方法提高了自动化设计的效率。

自动化设计系统里所用的设计文件、资料、程序和技术手段的标准化和规格化工作的统一规划，保证了它们的通用性和柔性、生产条件改变时能迅速地重新调整、借助重新制订的子系统使系统分阶段投入使用和进一步扩大、同时使算法和程序更加完善。

4) 被设计的系统应由一系列子系统组成，这些子系统可以在不同的方案里组合或独立运用，为此必须广泛采用构成程序和技术资料的分级原则、解决复杂问题的模块原则和组合原则 (Модульный и пакетный принципы)。

解题的模块原则是在算法化阶段把总课题或系统分成若干部分，这些部分在相对意义和职能上具有独立性，它们经历了分析、编制程序和调整等各个独立阶段，然后利用它们来组成总程序。将课题分成模块。解决成套设计问题的一些单独的模块能够利用低水平的小模块，这些小模块能将资料改变成标准程序，并在许多高水平模块中被采用。

必须从大多数设计程序中把规格化了的程序划分出来，它们的算法对于一系列设计对象或者同一设计对象的不同设计阶段都是不改变的。

从系统的算法中分出最通用和经常遇到的模块，并把它们存入系统的资料库中，就能在制定程序相同部分时避免重复，从而减少了建立系统的劳动量。解题的模块原则保证了自动化系统的柔性和可塑性，并且在这样的系统里能够通过建立、补充新的模块和改进、重新安排现有程序来改变资料改造的程序。

模块原则不仅对于许多过程的设计自动化,而且对于建立设计的机器算法都提供了先决条件。建立设计的机器算法,对于发展和推广自动化设计方法有着巨大意义,因为加速了各个单独算法和程序的制定过程,目前这种工作往往要拖延数月,甚至于一年的时间。

随着模块的积累逐渐形成了模块资料库,它能经常通过新陈代谢的方式被充实和更新。

在标准模块资料库的基础上以应用程序包的形式建立了局部自动化设计子系统,它包括解题的输入语言、设计对象的数学模型、程序模块资料库、程序发生器、输出语言和机器设计结果的文件编制子系统。利用建立系统的组合原则,不仅能根据设计要求自动、快速地把各个单独子系统集合在一个系统中,而且能实现集合原则,把低水平的子系统综合成为成套设计的复杂的多水平的分级系统。

建立自动化设计系统和子系统并不是偶然完成的,而是系统不断发展、职能不断完善和扩充的连续过程。建立系统的模块和组合原则,保证了将系统分阶段地投入使用,并且借助已制定的子系统、模块等来不断扩大。

5) 自动化设计的效率随着优化设计方法的采用而不断提高。为此必须要对过程进行细致研究,以便建立过程的优化模型。解题的优化方法在热模锻生产中的应用,将在后面各章中介绍(见第三、十、十三章)。

6) 设计САПР时要合理的区分人和电子计算机间的作用。

在我国已制定的自动化设计系统里,只是在原始资料的编码阶段,在分析设计结果和准备工艺文件的大多数情况下(不总是如此),人们才参与设计过程。所有与设计有关的计算,其中特别是选择方案的工作,都是由电子计算机完成的,而不需人们参加。设计自动化工作的进一步发展将促使建立复杂的人-机综合体,它能在一定时间范围内实现人机对话,并能把工艺师和设计师从繁

冗的重复劳动中解放出来。在这些系统里人们不仅归纳概念和假设,而且积极参预解决难于形式化的问题,扩大了用电子计算机解决设计问题的范围。运用人机对话能使全新工艺过程的工艺和设计准备实现自动化,还能利用电子计算机研究过程和发展它们的理论。

## 2. 建立工艺设计自动化系统的各个阶段

建立工艺设计自动化系统(ACHT)的过程可分成下面各个阶段:问题提出;制订出解决生产工艺准备问题的明细表(工艺算法);从现有的方法中挑选或者制订出原始资料编码和输出资料译码的新方法;制订出机器算法和程序;采用系统。

在问题提出阶段包括描述自动化的对象、选择和确定所制订自动化系统的限制范围、以及选择和确定输入和输出资料的种类。

通常,自动化对象是单独的工艺问题,如回转形锤上模锻件图的设计<sup>[3]</sup>。这里有三种型式的限制:零件的几何形状、设备型式(这将使毛坯形状和工艺过程的方案个数受到限制)、系统中能解决的问题个数。最后一条限制是由输入、输出资料的组成和改造资料的范围所决定的。

系统中引起的限制,一方面是由于设计过程规律的数学描述方法的发展水平和自动化求解方法的发展,另一方面是由于该课题实现自动化的经济合理性,例如,[3]中系统的限制是由于在提出和解决自动化问题时还没有建立自动化设计系统的经验(对于模锻,这个问题已首次解决)。此外,由于在计算回转形锻件模锻过程工艺参数方面,理论工作的发展水平以及系统的算法统计模拟的可能性,已有可能针对所编制的回转形锻锤模锻件编码系统解决编码问题、建立过程工艺参数的计算方法并使其算法化。回转形锻件的设计最简单,但它们是应用最广泛的一类锻件,在许多工厂里,它们约占锻件总数的30~60%。