



创新驱动、转型升级

计算机辅助工艺 优化设计全解析

王杰曾 编著

助力**中国制造2025**，推动**工业企业转型升级**

书中相关数据及案例素材请通过微盘链接 <http://vdisk.weibo.com/s/qHjIKy7aaqMq> 下载

或直接扫描二维码



下载



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



创新驱动、转型升级

计算机辅助工艺优化 设计全解析

王杰曾 编著



机械工业出版社

本书介绍了通用软件 Excel 的高级功能和流行质量管理软件 Minitab 的核心技术,简述了上述工具在二次曲面、回归分析、实验设计、多元分析中的运用,根据三次设计、业务流程再造、持续改善、价值工程、TRIZ、全面质量管理、六西格玛、运筹学、系统论和控制论等理论,分析了“制造流程优化”“参数设计优化”“质量管理优化”和“从优化到创新”47个案例通过分析前人的工作,总结成功的模式,提取常见的问题,给出问题的参考解答,形成比较系统的解决方案,可用于指导正在努力探索的广大企业,特别是中小企业的技术创新实践,帮助这些企业转型发展,促进传统产业升级换代。

本书的易读性、实用性和可操作性较强,适合企业和科研单位从事技术管理、技术创新的骨干以及高等院校从事研发工作的师生自学,也可作为研究生或高年级本科生和工程师继续教育的教材。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助工艺优化设计全解析/王杰曾编著. —北京:机械工业出版社, 2015.6

(创新驱动、转型升级)

ISBN 978-7-111-50851-9

I. ①计… II. ①王… III. ①机械制造工艺—计算机辅助设计
IV. ①TH162

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 157273 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张淑谦 责任编辑:王海霞

责任校对:张艳霞 责任印制:乔宇

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·23.5 印张·429 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-50851-9

定价:69.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010) 88361066 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294 机工官博: weibo.com/cmp1952

(010) 88379203 教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

我国是世界制造大国，制造业是我国经济的支柱产业。目前，我国经济正通过转型谋求新的增长，中国制造也正在通过创新获得新的动力。

然而，创新是一项投入大、风险高的事业。与发达国家同行相比，我国企业起步晚、基础薄、经验少，在资金、技术、装备、管理、人才上都没有优势。因此，我国的企业要通过创新开辟一条成功之路，就得认识科技创新的规律，看清技术进步的趋势，根据行业状况、对手动向和自身条件，制定正确的策略。为了帮助广大中资企业，尤其是中小企业提高创新水平，本书系统研究了国内外的创新理论，剖析了大量的创新案例，从中总结了成功的模式，提取了常见的问题，给出了问题的参考解答，形成了系统的解决方案，以便支持这些企业的创新工作。

本书第 1 章主要讲解计算机辅助工艺优化技术及其发展趋势，并对与其相关的智能制造方向作了较为详细的说明。

本书第 2 章介绍了流行软件 Excel 2010/2003，包括 Excel 基本技术；Excel 的数学、代数、逻辑、统计、查找五大类共 29 个函数，数据透视表，方差分析，相关分析，回归分析，逐步回归，以及规划求解的方法。

第 3 章介绍了通用质量管理软件 Minitab，包括基本作图、常规统计（方差分析、相关分析和回归分析）、实验设计和多元分析。通过 Excel 与 Minitab 进行接力式运算，可以解决工艺优化所遇到的大多数问题。

第 4 章介绍了二次方程、二次曲面以及响应曲面。

第 5 章及附录介绍了回归分析、回归方程的平方和分解式和正交试验设计、二次正交试验设计。学习要点是：1) 搞清所研究问题的机理—回归方程—二次曲面之间的关系；2) 搞清试验设计表的分辨能力；3) 根据对机理的分析，正确进行试验设计；4) 根据上述分解式，找出方程的重要因子；5) 建立重要截面上的响应曲面，借助曲面优化性能，通过分析优化的结果发现隐蔽的问题并解决问题。

第 6~8 章依次介绍了制造流程优化、参数设计优化和质量管理的优化。首先，找到工艺流程中最有价值的环节，确定其考核指标及影响因素。其次，建立反映上述指标和因素关系的模型，利用模型进行优化，分析优化结果，发现

和解决矛盾，求得最佳工艺条件。最后，确定质量控制的诸要素，并进行有效的监控，以保证制定的工艺制度得到切实有力的执行。

第9章首先叙述优化、创新、优化与创新的关系；其次介绍立足企业现状进行创新的实例。近年，国家大力提倡自主创新，经过自上而下的反复讨论，对创新的必要性已形成共识。但是，与发达国家顶尖企业相比，我国企业的经济实力和它们还不在同一层次，创新能力也不在同一水平。因此，我国企业要从低端入手，从投入小、风险低、见效快的革新起步。确定无误的大方向后，持续进行一系列短平快的优化，日积月累、聚少成多，才能成就大的事业。

作者在撰写本书时，尽可能使本书具有“易”“全”“实”三个特点。“易”指容易上手，用通俗的语言叙述，使零起点的读者也能够学懂；“全”指涉及工艺过程的方方面面；“实”指接地气、有实效，可大幅提高研发效率。读懂一本书就能够解决实际问题；精通一本书就可望成为创新高手。

本书在写作和出版中，得到了国家973计划项目“水泥低能耗制备和高效应用”（2009CB623100）、国家“十二五”科技支撑项目“高抗侵蚀熔铸氧化铝系列耐火材料的研发”（2013BAE03B01-01B）的资助，得到了中国建筑材料科学研究总院曾大凡副院长、颜碧兰副院长等领导的关心和支持，得到了瑞泰科技股份有限公司副总经理袁林教授、国家绿色建材重点实验室水泥方向学术带头人汪澜教授、混凝土方向学术带头人王玲教授等知名专家的指导和帮助。参加本书审查的有刘锡俊（第1章、9.1、9.2.2、9.3和9.4节）、魏翰（第2章）、徐如林（第3章）、王俊杰（第4章、第5章和附录）、汪澜（第6章、7.2.8、9.2.1节）、王玲（7.2.9-7.2.11节）、周严敦（7.1、7.2.12、7.3节）、曹变梅（7.2.13、9.2.2节）王华（第8章）。

本书在写作中参考了大量文献资料，通过分析前人的工作，提取其中精华、总结经验，得以形成比较完整的知识体系和能够解决我国企业实际问题的系统方案。

知识是经验的总结，科学是知识的体系，科学大厦是由众人贡献的一砖一瓦筑成的。谨此，一并向对本书作出贡献和提供帮助的各位表示衷心感谢！对本书的不妥之处，也恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 计算机辅助工艺优化及其发展	1
1.1 现代工业生产的发展	1
1.2 工业生产的共性问题	5
1.3 计算机辅助工艺优化及其相关智能制造的研究方向	6
第 2 章 Excel 高级技术	14
2.1 Excel 基本技术	15
2.1.1 界面、单元格和工作表	15
2.1.2 定制使用环境	19
2.1.3 制作两轴线-柱图	22
2.2 Excel 公式和函数	27
2.2.1 Excel 的公式	27
2.2.2 Excel 数学函数	31
2.2.3 Excel 代数函数	32
2.2.4 Excel 逻辑函数	34
2.2.5 Excel 统计函数	35
2.2.6 Excel 查找函数	39
2.2.7 Excel 的公式与函数的运用	41
2.3 Excel 数据透视表	43
2.4 Excel 数据分析	46
2.4.1 方差分析	47
2.4.2 相关分析	51
2.4.3 回归分析	52
2.5 Excel 规划求解	55
2.5.1 数学规划的模型	55
2.5.2 规划求解的运算	56
2.5.3 规划求解的实例	57
2.6 Excel 技术的综合运用	58
2.6.1 检查正交表的正交性	58

2.6.2	正交试验结果的回归分析	59
2.6.3	正交试验结果的方差分析	61
第 3 章	Minitab 核心技术	64
3.1	Minitab 概述	64
3.1.1	Minitab 的特点	64
3.1.2	Minitab 的界面	65
3.1.3	Minitab 的最常用图形	67
3.2	Minitab 常规统计	71
3.2.1	随机变量的数字特征	71
3.2.2	随机变量的分布函数	73
3.2.3	置信区间和显著性水平	76
3.2.4	均值和方差的检验	80
3.2.5	分布拟合	83
3.2.6	方差分析	84
3.2.7	相关分析	88
3.2.8	回归分析	89
3.3	Minitab 试验设计	90
3.3.1	创建二水平因子设计	90
3.3.2	分析二水平因子设计	94
3.3.3	创建三水平因子设计	102
3.3.4	分析三水平因子设计	103
3.4	Minitab 多元分析	106
3.4.1	判别分析	107
3.4.2	聚类分析	109
3.4.3	主成分分析	112
3.4.4	因子分析	115
3.4.5	对应分析	117
第 4 章	响应曲面和二次曲面	120
4.1	用 Minitab 绘制响应曲面	121
4.1.1	绘制 3D 响应曲面	121
4.1.2	绘制多指标的等值线图	123
4.2	响应曲面试验设计	125
4.3	二次方程的解释力和二次曲面的拟合力	127
4.3.1	二次方程的解释力	127

4.3.2	二次曲面的拟合力	128
4.4	多元二次函数及其响应曲面的性质	129
4.4.1	常规椭圆型二次函数	129
4.4.2	常规双曲型二次函数	131
4.4.3	对角双曲型二次函数	133
4.4.4	正双曲型二次函数	134
4.4.5	正椭圆型二次函数	134
4.4.6	抛物线型二次函数	135
4.4.7	一次函数	136
第 5 章	回归分析和试验设计	138
5.1	回归分析简述	138
5.1.1	多元线性回归	138
5.1.2	逐步回归分析	139
5.1.3	多元非线性回归	140
5.2	试验设计的优良性	141
5.3	回归方程的平方和分解式	143
5.3.1	离差平方和分解式	143
5.3.2	回归平方和分解式	144
5.4	正交试验设计	144
5.4.1	正交表的特点	145
5.4.2	正交表的变换	146
5.4.3	对正交表 $L_4(2^3)$ 的研究	147
5.4.4	对正交表 $L_8(2^7)$ 的研究	148
5.4.5	对正交表 $L_{16}(2^{15})$ 的研究	151
5.4.6	对正交表 $L_9(3^4)$ 的研究	153
5.4.7	对正交表 $L_{27}(3^{13})$ 的研究	156
5.4.8	对正交表 $L_{16}(4^5)$ 的研究	159
5.5	二次正交试验设计	160
5.5.1	二因素二次正交设计	161
5.5.2	三因素二次正交设计	162
5.5.3	四因素二次正交设计	164
5.5.4	五因素二次及六因素二次正交设计	166
5.6	选择试验设计表	166

第 6 章 制造流程优化	167
6.1 绘制工艺流程图	167
6.1.1 工艺流程图的符号	168
6.1.2 绘制工艺流程图	168
6.2 流程的理论	171
6.2.1 工艺流程	172
6.2.2 流程设计	172
6.2.3 参数设计	173
6.2.4 容差设计	173
6.3 流程的分析	173
6.3.1 总体分析	174
6.3.2 细节分析	174
6.4 流程的优化	177
6.4.1 优化时间	177
6.4.2 优化通量	178
6.4.3 优化能效	180
6.4.4 优化方法	180
6.5 优化实例	183
6.5.1 优化快餐服务时间	183
6.5.2 优化立窑卸料装置	185
第 7 章 参数设计优化	190
7.1 基本理论	190
7.1.1 参数优化的特点	190
7.1.2 参数优化的方法、条件和要素	191
7.1.3 参数优化的问题	194
7.2 简单工艺优化	195
7.2.1 铝-24 硅活塞合金高温性能优化	196
7.2.2 铝镁锌合金力学性能优化	201
7.2.3 铝合金时效工艺优化	205
7.2.4 球墨铸铁等温淬火工艺优化	208
7.2.5 高合金模具钢热处理工艺优化	212
7.2.6 硅铝合金精车工艺优化	215
7.2.7 雷达天线焊接工艺优化	219
7.2.8 水泥熟料成分优化	222

7.2.9	喷射混凝土性能优化	228
7.2.10	泵送混凝土性能优化	233
7.2.11	混凝土外加剂配方优化	236
7.2.12	镁锆砖抗侵蚀性能优化	239
7.2.13	山茱萸多糖提取工艺优化	245
7.3	复杂工艺优化	248
7.3.1	钢材热处理工艺优化	249
7.3.2	粘土大砖工艺优化	256
7.3.3	高纯硅砖工艺优化	270
第 8 章	质量管理优化	282
8.1	全面质量管理	282
8.1.1	全面质量管理的由来	282
8.1.2	全面质量管理的理论	283
8.1.3	全面质量管理的方案	286
8.2	六西格玛管理	289
8.2.1	六西格玛的发展	289
8.2.2	六西格玛的方法	290
8.3	质量管理的实例	290
8.3.1	典型外企的质量管理	290
8.3.2	典型中企的质量管理	293
8.4	Excel 在质量管理中的运用	295
8.4.1	统计质量管理基础	295
8.4.2	绘制直方图	296
8.4.3	绘制帕累托图	297
8.4.4	描述性统计	299
8.4.5	绘制管制图	300
8.4.6	计算过程能力	305
8.5	Minitab 在质量管理中的运用	307
8.5.1	全面质量管理的七种基本工具	307
8.5.2	绘制因果图	307
8.5.3	检验概率分布	309
8.5.4	绘制直方图	310
8.5.5	绘制帕累托图	311
8.5.6	描述性统计	311

8.5.7 绘制管制图	312
8.5.8 计算过程能力	315
第 9 章 从优化到创新	317
9.1 基本理论	317
9.1.1 优化	317
9.1.2 创新	318
9.1.3 优化与创新的关系	319
9.2 利用企业生产管理的数据进行创新	320
9.2.1 采用回归分析寻求规律	320
9.2.2 采用多元分析寻求规律	329
9.3 结合企业日常技术工作进行创新	341
9.3.1 氧气转炉炼钢的发明和完善	342
9.3.2 镁碳砖的发明	343
9.3.3 溅渣护炉技术的发明	345
9.3.4 案例点评	347
9.4 赶超世界一流，中国企业应从哪里入手？	347
9.4.1 从提高现有产品的质量入手，提升管理水平	347
9.4.2 从改善现有产品的性能入手，建立创新氛围	349
9.4.3 从开发新产品入手，培育核心能力	349
附录 A 回归方程离差平方及回归平方和分解式的补充证明	353
参考文献	356

计算机辅助工艺优化及其发展

计算机辅助工艺优化是一门以计算机为工具，集成一切适用的科学技术知识来优化制造工艺的横断学科，适用于机械、冶金、建材、化工、轻工、电子、食品、医药等制造业的子行业。为了更好地优化工业生产，需要了解工业生产的特点，分析亟待改善的业务流程，找出流程的关键环节、关键指标和影响这些指标的重要因素，通过优化这些因素达到改善这些指标的目的。如果大方向正确，且一直坚持不懈地进行此类优化，可以由量变引起质变，最终产生巨大的效果。

1.1 现代工业生产的发展

20 世纪初，美国人提出了泰罗制和福特制，奠定了现代工业管理的基础，决定了现代工业生产的特点。

泰罗制是弗雷德里克·温斯洛·泰勒提出的“科学管理理论”，其核心是科学化、标准化的管理。例如，通过观察工人的操作，提出正确的方法。通过十分仔细地观察工人的工作，泰勒记录下工人完成每项工作所采用的步骤和耗费的时间，分析其中的有效成分和无效成分，通过强化有效、剔除无效来完善操作。在此基础上，泰勒先生提出标准化的方法，建立标准化的条件，再对工人进行选择 and 培训，制定劳动定额和考核方法，从而大幅提高了工作效率。

泰勒进行了三次著名的管理学试验。在“搬运铁块试验”中，每天每名工人搬运的铁块从 12~13t 提高到 47t，工资从 1.15 美元增加到 3.85 美元；在“铁锹试验”中，堆料场的劳动力从 400~600 人减少到 140 人，每人每天的操作量从 16t 提高到 59t，每个工人的日工资从 1.15 美元提高到 1.88 美元；在“金属切削试验”中，泰勒原计划用 6 个月的时间找出用车床、钻床、刨床等机床加工金属时，用什么样的刀具、多大的速度等才能获得最高的加工效率。

但是，这项试验却进行得异常艰难。前后共经过了 26 年，耗费了 80 多万吨钢材和 15 万美元经费之后，在十几名专家的帮助下，才取得了重大的进展，发明了高速钢并获得专利（参见 <http://baike.baidu.com/view/1498733.htm?fromtitle=%E6%B3%B0%E5%8B%92&fromid=10285903&type=syn>）。

福特制是亨利·福特推出的一种管理方法。1913 年，福特建立了世界上第一条汽车生产流水线。由于配置了合格的通用零部件，建造了完善的中心装配线，预先按照工序将机器和员工排列，经过短期训练后，非熟练工人就可以胜任工作，在规定时间内、按规定的标准装配好零配件，实现了汽车的大批量生产。1908 年，福特公司生产了 6 000 辆 T 型车，每辆售价高达 850 美元；到了 1916 年，福特卖出了 6 万辆 T 型车，每辆售价降到 360 美元；随着设计和生产的不断改进，其售价又降低到 260 美元（参见 <http://wiki.mbalib.com/wiki/%E4%BA%A8%E5%88%A9%C2%B7%E7%A6%8F%E7%89%B9>）。福特帮助很多美国人实现了汽车梦。此后，生产流水线就逐渐发展为批量生产的标准形式。工业流水线有如下三个特征：

- 机械化。由于人的体力很小且难以持久，只有用机械大规模代替人工操作，才能实现大规模批量生产，特别是在流水作业线上实现高速度、连续化的生产。
- 自动化。由于人容易疲劳，水平、经验和责任心又参差不齐，且人的情绪还处于变动之中，操作工人对目前状态的判断、未来情况的估计、作出的决策和采取的动作都带有一定的盲目性，从而影响生产过程和产品质量的稳定性。因此，需要在一切地方尽可能采用自动化设备，以实现工业制造的精确控制，从根本上保证产品的质量。
- 标准化。根据《辞海》解释，“标准”是“衡量事物的法则”；“标准化”指“制定和贯彻标准以统一产品、零部件、工艺、图纸、代号等技术要求为主要内容的有组织活动过程”。在工业流水线上，生产被分解成为一系列被串联起来的环节（又称单元或工序），每一环节的原料（或坯件）为上道环节的产品，而每一环节的产品又为下道环节的原料（或坯件），同时每道环节的加工过程也影响着该道环节产品的质量。所以，每一作业环节的原料（坯件）、加工条件和产品标准都要有一定的规范。为了维持生产秩序，保证最终产品的质量，必须制定一系列标准，如原料技术指标、工艺参数波动范围、产品技术指标等，作为共同遵守的准则和追究责任的依据。

20 世纪 50 年代，丰田公司的丰田英二参观底特律的福特流水线时，对汽车流水线的生产速度很是震惊。但是，丰田英二不久就发现福特的管理仍有很

大改进余地。例如,生产占有过多库存而且发现问题也不及时进行纠正。于是,丰田英二和大野耐一合作提出了丰田式管理方式,也被叫作精益生产。精益生产的理论核心是“一个目标、两大支柱和一大基础”(参见 <http://wiki.mbalib.com/wiki/%E4%B8%B0%E7%94%B0%E5%BC%8F%E7%94%9F%E4%BA%A7%E7%AE%A1%E7%90%86>),具体内容如下:

- “一个目标”指低成本、高效率、高质量地进行生产,争取做到零缺陷、零库存,最大限度地使顾客满意。
- “两大支柱”指准时制和人员自主化。简单地说,准时制就是企业按照市场需求制定详细计划,流水线的上道工序按照下道工序的需求组织生产。在合适的时间,上道工序向下道工序提供合适数量和合适质量的产品。由此,既防止了因供料不及时或质量不合格而造成的损失,又防止了因供料太早、太多而造成的损失;人员自主化就是操作人员发现流水线上出现故障,导致出现质量、数量、品种问题后,要及时停机,待排除故障后再恢复生产。这样,就减少了生产有问题的产品,消灭了可避免的无效制造。
- “一大基础”指改善(即优化),是丰田式生产管理的基础。丰田公司认为永远存在改善的余地;认为要经过全员努力不断消除一些不能产生价值的浪费,如生产过剩、库存、等待、多余的动作,不良品的返工;认为对生产与管理中的难题,要采用先易后难的原则,持续不断地进行改善,经过不懈的努力和长期的积累,以最终解决这些问题。

与福特的大规模生产相比,丰田的精益生产是一次巨大的进步:1)人力资源需求量可降低到原来的 $1/2$; 2)新产品开发周期降到原来的 $1/2 \sim 2/3$; 3)中间产品的库存降低到原来的 $1/10$; 4)工厂占地面积降低到原来的 $1/2$; 5)最终产品的库存降到原来的 $1/4$ 。20 世纪 70 年代,发生了两次石油危机,汽车用油的价格上涨了 4 倍。于是,日本汽车公司趁机大举进军美国。不久,日本汽车就凭优质、廉价、省油的特点横扫美国市场,一度把以前位居世界第一的美国汽车打得溃不成军。

进入 21 世纪后,各主要发达国家陆续推出了一系列科技计划。2012 年 2 月,美国国家科学技术委员会发布了《先进制造业国家战略计划》;2013 年 10 月,英国政府科技办公室发布了《英国工业 2050 战略》;2013 年 4 月,德国政府发布了《德国工业 4.0 战略》。2014 年 10 月 10 日,我国国务院总理李克强与德国总理默克尔共同主持了第三轮中德政府磋商会议,发表了《中德合作行动纲要:共塑创新》,提出在德国的“工业 4.0”和中国的“两化深度融合”方面进行深入合作。“工业 4.0”是德国政府发起的,以智能制造为主导

的国家级战略，是对工业生产方法的革命性改造，被称为第四次工业革命。“工业 4.0”是一种在信息技术发展到新阶段所产生的新的工业发展模式，目的在于提高企业、行业乃至国家的整体竞争力。

按照目前的共识，工业 1.0 指蒸汽化时代，工业 2.0 指电气化时代，工业 3.0 指信息化时代，工业 4.0 指智能化时代。工业 4.0 的核心是要利用信息化促进产业变革。工业 4.0 的特征之一是连接：用智能物联网把设备、生产线、工厂、供应商、产品、客户紧密地连接在一起。例如，利用网络将生产线上无处不在的传感器连接在一起，获得关于原材料、加工参数、半成品和成品性能指标的海量数据（大数据），在网络上计算机的支持下处理这些海量数据（云计算），提取其中的规律（数据挖掘），从而利用这些规律以更高的效率制造出性能和质量更好的产品。另外，也能更快、更好地适应市场变化，为重点客户提供上乘的个性化服务。

早在第十六次全国代表大会上，我国就提出了“以信息化带动工业化，以工业化促进信息化”的新型工业化道路的指导思想。在十七大和十八大上，又分别继续提出了“发展现代产业体系，大力推进信息化与工业化融合”和“坚持走中国特色新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化道路，推动信息化和工业化深度融合”的新科学发展观。

一方面，信息技术广泛应用到工业生产的各个环节，成为推动工业技术进步的主要手段，进而成为工业生产不可或缺的部分。另一方面，工业的技术进步催生新的子行业，例如，信息化与工业化可以在技术、产品、业务和产业四个方面融合。在技术方面，信息技术与传统技术结合可以形成新技术。如工业技术与计算机控制技术结合形成工业计算机控制技术。在产品方面，信息技术渗透到传统产品中可以增加传统产品的计算含量，例如形成新产品，如数控机床、智能汽车等。在业务方面，信息技术应用到研发设计、生产制造、经营管理、市场营销等各个环节后，大幅推动了管理升级，如运用于设计的 CAD（计算机辅助设计）、CAE（计算机辅助工程分析）、CAM（计算机辅助制造）和用于管理的商业智能（BI）。在产业方面，信息化与工业化的融合可以催生新产业，如工业电子、工业软件、工业信息服务业等。

因此，德国的“工业 4.0”和我国的“两化融合”是一脉相承的。“工业 4.0”和“两化融合”不仅手段相同，目的也相同。从手段上讲，两者都是信息技术与传统技术的结合。从目的上讲，都力求达到“优”，以及“绿”和“云”的目标。所谓“优”，就是工程师一贯追求的“低成本”“高性能”和“优质量”目标。例如，美国材料科学与工程调查委员会曾经定义：材料科学与工程是关于材料成分、结构、工艺和性能与用途之间有关知识的开发和应用

的科学。这样,很长时间以来,材料科技人员的任务都是搞清材料成分—工艺—结构—性能之间的关系,从调节材料的成分和工艺入手,改变材料的结构,制造出低成本、高性能的材料。所谓“绿”,就是人们根据可持续发展的理念提出的新的要求。20世纪80年代以后,人们逐渐意识到不仅要以尽可能低的成本制造出满足市场需求的产品,还要尽可能节约资源和减少环境污染。在设计、制造、使用、废弃直至再生利用的整个产品生命周期中,要追求最大的与环境协调共存性。因而,提出了“低消耗”“低污染”“高安全”和“易回收”等新要求。所谓“云”,就是不仅要研究传统科技所专注的物质转变和能量转化问题,而且要研究如何采集、传输、储存和分析信息,通过最大限度地利用信息,实现制造的自动化、智能化和最优化,从而建立起资源节约和环境友善的新文明。

“工业4.0”和“两化融合”给我国工业的发展带来了巨大的机遇,将促进我国的发展方式从“人口红利”转到“人才红利”,促进发展的动力从“要素驱动”转向“创新驱动”。按照工业和信息化部出台的《中国制造2025》:2020年前,我国将广泛推行数字化制造;2020年后,将全面推广智能制造;2025年,中国制造要力争进入以德、日为代表的第二方阵;2035年,中国制造要力争处于第二方阵的前列;2045年,中国制造要争取进入以美国为代表的第一方阵。

1.2 工业生产的共性问题

20世纪70年代,日本的质量管理大师田口玄一提出了具有广泛适用性的“三次设计”的概念。也就是,无论是生产工艺设计还是产品开发设计都可以分为三个阶段进行,即系统设计、参数设计和容差设计。

系统设计主要研究如何确定生产或产品系统。对于生产来说,就是确定生产工艺流程中的起点、路线和终点。例如,采用什么原材料?生产什么产品?产品应该具有什么技术经济指标?应该采用什么技术路线才能生产出具有这些指标的产品?系统设计时,要仔细分析生产过程中或产品使用中的物质流、能量流和信息流,发现物质变化、能量转换,以及信息采集、传递、分析和利用效率低下的环节并加以改进。由此,便能经济合理地批量制造出优质产品。

对于生产,参数设计就是在流程设计的基础上,确定整个生产系统和其中每个环节的工艺参数。由于生产的高度复杂性,常常需要采取逐层分解的方法进行分析,采用简化方法抓住重点逐步进行优化:

- 首先,把整个工艺流水线作为一个系统,视所有的原材料和主要中间

参数为系统的输入，视制造和产品的技术经济指标为系统的输出，分析系统的输入和输出。

- 其次，把上述工艺流程分解成若干相对独立的环节（子系统），把环节所用原材料、半成品和控制参数作为该子系统的输入，把该环节半成品或产品的性能指标作为该子系统的输出，分析子系统的输入和输出。
- 再次，找出当前条件下最具有潜在价值的关键环节，把该环节的原材料、半成品和控制参数作为输入（工艺参数），把该环节半成品或产品的性能指标作为输出（性能指标），设法建立输入和输出的因果关系（定量分析的数学模型）。通过优化模型，即调节工艺参数使该环节达到最佳工况，也就是说，使其具有最佳的技术经济指标。
- 第四，如果问题十分复杂，例如涉及很多的工艺参数，则需要抓住其中重要的参数对其进行优化，以改善最需要改善的指标。由此，可求出一个优化解并使问题得到简化。
- 最后，由于流水线的各个环节不仅涉及很多的参数和指标，而且各个参数、各个指标也可能互相耦合，因此常常需要采用多步优化法。在每一步，先找到当前的主要问题，即具有最高经济价值而通过努力又能解决的问题，集中力量进行攻关。

容差设计指质量控制设计。容差设计需具备下述条件：1）能监测生产系统所有的原材料和中间参数的变化；2）能检测半成品和产品技术性能指标的变化；3）用统计方法建立每个重要环节输入与输出的数学关系；4）控制原材料性能指标和中间参数的波动；5）随时进行观察和监控，如果发现问题，就要及时纠正并检查纠正的效果。生产质量控制的三要素为：工艺流程中监测点的位置、监测的内容和间隔以及控制的指标，即被控指标的波动范围。

1.3 计算机辅助工艺优化及其相关 智能制造的研究方向

计算机辅助工艺优化是智能制造的核心技术之一。智能制造是一种以计算机为核心的智能机器和人类专家组成的人机一体化系统。它旨在用机器去增强、延伸和部分取代人的脑力劳动，提高人的分析、推理、判断、构思和决策能力，达到改善制造的目的。计算机辅助工艺优化是在解决工业技术难题的过程中成长的。经过长期发展，已逐步成熟并形成体系。