

汽车制造切削加工 系统工程及应用

QICHE ZHIZAO QIEXIAO JIAGONG
XITONG GONGCHENG JI YINGYONG

达世亮 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车制造切削加工系统工程及应用

达世亮 编著



机械工业出版社

本书将切削加工作为一个系统，并应用系统工程、切削摩擦学、表面工程等方法来研究、分析和处理切削加工问题，提出了新理论、新观点和新方法。作者将技术与管理结合起来分析、研究问题，并将这些理论和方法应用于切削加工的实际，特别是汽车制造业中的切削加工生产。书中应用了大量生产中的实例进行分析和说明，并从系统工程的角度对与切削加工紧密相联的刀具管理进行了分析，还特别说明了在刀具管理中应用业务外包的理论及其实施和控制方法。

本书可供从事切削加工的工程技术人员，企业管理、质量管理和控制等方面的工作人员和研究者以及大专院校师生阅读和参考。

图书在版编目（CIP）数据

汽车制造切削加工系统工程及应用/达世亮编著. —北京：机械工业出版社，2009.1

ISBN 978-7-111-25472-0

I. 汽… II. 达… III. 汽车—车辆制造—金属切削—加工工艺
IV. U466

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 167874 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：赵 鹏 责任编辑：赵 鹏 版式设计：霍永明

责任校对：申春香 封面设计：鞠 杨 责任印制：乔 宇

北京中兴印刷有限公司印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·315 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-25472-0

定价：36.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379349

封面无防伪标均为盗版

前 言

切削加工是汽车制造过程中的一种重要的工艺方法，各种汽车零部件特别是进行运动和传递功率的零部件，如汽车发动机、变速器、车桥等部件中大量的各种轴、齿轮、箱体等零件都需要进行切削加工。通过车削、铣削、钻削、铰削、拉削、磨削和螺纹切削等各种切削工艺和方法，才能达到所需要的精确的表面形状、尺寸精度、位置精度和表面粗糙度等各种要求。

切削加工是一种历史悠久的工艺方法，可是近年来随着高速切削和高效加工的出现和发展，随着所加工工件新材料的出现和加工要求的提高，随着数控加工机床和各类新型刀具的发展和应用，切削加工中出现了很多新的特点，也出现了很多有待解决的问题。

激烈的市场竞争要求汽车生产企业既具有很高的柔性生产能力，又具有高效大量生产的能力。同时，工件的加工要求和质量稳定性要求都在不断提高，而相应的制造成本则要求具有市场竞争力，这些都带来很大的挑战。

影响切削加工过程和加工效果的因素非常多，加工的工艺方法和工艺过程，所加工的工件毛坯及其材质，所采用的机床、夹具、刀具、切削液等，都有着非常显著的影响。除此以外，刀具的管理、切削加工过程的质量控制等管理因素也起着非常重要的作用，而且这些因素之间还有着紧密的联系和交互作用。

在汽车制造的切削加工生产实践中，在分析和解决经常会遇到的各类切削加工问题时，常会发生解决问题的效率不高或效果不佳的情况。有时将有限的人力和物力资源用在了不合适的方向上，花费很长时间却不能真正解决问题；有时解决了一方面的问题，却冒出了另一方面的问题。

现代切削加工所面临的要求越来越高，汽车制造切削加工生产中所遇到和需要解决的问题也越来越复杂，因此能够帮助我们思考并解决这些复杂问题的方法显得越来越重要。系统工程就是这其中的一种重要方法。

系统工程是近三十年发展起来的一门新兴的综合学科，它研究人类进入现代化社会后所面临的各种综合性问题，它是运用系统观点和系统方法处理复杂的工程、科研和生产任务而创造的方法。

将汽车制造切削加工过程作为一个包含有多个子系统的复杂的系统来看待，应用系统工程的方法来研究、分析和处理切削加工问题，引入切削摩擦学和表面工程在切削加工中的应用，将切削加工中的工艺安排、机床、夹具、刀具、切削液、刀具管理等作为相互联系的切削加工系统的子系统来研究和分析，研究它们的相互作用和联系，并研究各子系统

中的各因素的相互作用和联系。问题的着重点不在于对各领域专业技术的详细描述，而在于分析研究和比较各因素的特点及其对系统的作用和影响，打破专业的界限，从系统的总体和联系上把握和处理切削加工问题，并采用将技术与管理结合起来分析、研究问题的新思路和方法。将近些年兴起的业务外包在切削加工中的应用也纳入切削加工系统，从理论和实施方面进行探讨和分析。这是一种运用系统工程方法来处理和解决切削加工问题的方法，试图从新的角度、以新的观点看待汽车制造的切削加工过程，将传统的学说与新的理论结合起来，以提供给读者一种可供参考的新思路、新方法解决汽车制造切削加工生产中大量遇到的技术问题和管理问题。

本书结合汽车制造、切削加工和刀具技术及表面工程等近年来的最新发展，结合汽车制造切削加工生产和工作的实际，分析了一些典型案例，总结了作者多年来在汽车制造和机械加工工作方面积累的经验，提出了切削加工系统工程应用的理论和方法，希望能提供给读者一种从整个切削加工系统角度考虑、分析、处理切削加工问题的策略、途径和方法，以利于汽车制造和相关企业提高切削加工效率、提高加工质量和降低制造成本。

本书可供从事切削加工的工程技术人员，企业管理、质量管理和控制等方面的工作人员和研究人员以及大专院校师生阅读和参考。

系统工程是正在发展中的工程技术，切削加工系统工程更是处在发展之中，理论和方法都有待发展和完善，很多问题需要探索 and 解决，还需要在实践中得到更多的应用和验证，但可以相信的一点是，系统工程的基本思想和方法应用于切削加工领域，一定会带来很多新的收获。

作 者

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一章 切削加工系统的特点	6
---------------------	---

一、系统工程的基本概念	6
二、从系统角度看待切削加工	10
三、切削加工系统的各个要素及其子系统	11
四、技术与管理的结合	14
五、系统中的交互作用	14
六、系统的评价与控制	16

第二章 切削摩擦学系统	18
-------------------	----

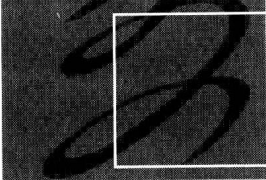
一、切削摩擦学的提出及其在切削加工中的应用	18
二、表面层和表面特征	20
三、切削过程中的摩擦	29
四、切削过程中刀具的磨损	31
五、刀具非正常损耗的一些重要原因	35
六、减摩与抗磨	37
七、切削过程中的润滑	37
八、带导条刀具与切削过程中油膜的形成	47
九、摩擦副的磨合及对刀具寿命的影响	49
十、表面工程在切削加工中的应用	51

第三章 切削加工的工艺系统	60
---------------------	----

一、汽车制造生产类型与切削加工工艺	60
二、工艺过程对切削加工系统输出的影响	64
三、加工方法的选择和影响	69
四、加工基准的选择和影响	74
五、高速高效加工对切削加工系统的要求	76
六、切削加工系统的变形及其影响	78
七、切削加工系统的振动及其影响	79
八、切削加工系统的热变形及其影响	80

九、机床和夹具对切削加工系统输出的影响	81
十、切削加工系统中最活跃的因素——刀具	84
十一、切削参数的选择	84
十二、工件状况对切削加工系统输出的影响	86
十三、工艺方案的经济性评价	89
第四章 汽车制造中刀具应用的系统考虑	91
一、切削加工系统对刀具的要求	91
二、PCD 刀具应用的特点	92
三、CBN 刀具应用的特点	96
四、陶瓷刀具应用的特点	99
五、硬质合金刀具与可转位刀具应用的系统考虑	103
六、刀具夹持装置	108
七、刀具的调整	114
八、刀具切削部分几何参数选择的系统考虑	116
九、刀具的修磨	120
十、重视刀具的刃口处理	123
十一、从组合机床到组合刀具	125
十二、一次性投资与长期性刀具消耗的关系	129
第五章 切削加工的质量控制系统	131
一、切削加工系统的稳定性与原因	131
二、统计过程控制与过程能力分析	133
三、潜在失效模式分析与控制计划	137
四、检测频次与质量风险、质量成本和效率的关系	141
五、加工尺寸和刀具破损的在线检测与控制	142
六、刀具的使用寿命和强制换刀	145
七、刀具的试验和更改控制	147
八、切削参数和数控程序的更改控制	148
九、切削液系统的控制	149
十、不合格品的系统分析和控制	150
第六章 刀具管理系统	152
一、刀具管理的意义	152
二、刀具管理的特点	153
三、刀具管理的发展过程	153
四、刀具管理的不同模式	155
五、刀具管理体系	157
六、刀具的采购及其管理	158
七、刀具的物流和库存管理	160

八、刀具的调整管理	162
九、刀具的修磨管理	163
十、刀具的成本控制	164
十一、刀具管理中精益生产理念的贯彻	166
十二、适应现代制造业信息化发展的要求	167
第七章 业务外包系统在切削加工中的应用	168
一、业务外包系统的出现和发展	168
二、业务外包的理论基础	173
三、业务外包的种类和模式	176
四、业务外包实施的条件和决策	179
五、刀具管理外包的实施	181
六、刀具管理外包的控制	182
七、可能导致刀具管理外包失败的原因	188
第八章 切削加工系统工程应用中的思考	190
一、切削加工系统分析的一般步骤	190
二、切削加工问题分析和解决中的一些原则	194
三、应用系统工程解决切削加工问题的策略和方法	198
四、关于刀具非正常损耗的系统思考	205
五、将系统工程方法应用于降低切削加工制造成本	208
参考文献	213



绪 论

随着高速、高效切削加工的应用和发展，切削加工中出现了不少新问题，有很多新的课题有待解决。

在汽车制造切削加工的生产中，经常会出现刀具崩刃、钻头或铰刀折断、刀夹破损、加工的工件尺寸超差、表面粗糙度不理想或刀具消耗费用异常等各种情况。遇到这些问题，不少人往往有一种习惯性的做法，切削加工中一出问题，就认为是刀具出了问题，大量的工作和解决措施都围绕着刀具进行，可是往往花了很大力量和很多时间，原因仍明白了，问题依然存在。

其实，切削加工特别是高效加工是一个系统问题，刀具只是这个系统中的一个部分，在切削加工中，所加工的工件毛坯、设备、刀具、夹具、切削液等组成了一个系统，切削加工的问题是这个问题，是这个系统中多个因素和变量综合作用的结果。而且对于不少企业而言，这个“系统”可能并不仅仅表现为一道工序或一台设备，而是整条生产线或整个车间；而刀具自身又是其中的一个子系统，包括刀具结构、几何形状、刀体材料、切削刃材料、刀具涂层等多个方面，所有的这些因素综合在一起，影响和决定着产品的尺寸、形状、位置、表面形貌、加工精度等。整个系统中的任何一个因素发生变化，都会对系统的输出即加工质量、加工效率和加工成本发生影响。

例如，过去人们虽然感觉到切削液对切削加工有作用，但往往也只是将其作为生产加工中的一般辅助材料处理，然而现在的生产实践却告诉人们，作为整个切削加工系统一部分的切削液已重要到如此程度，如果切削液选择不合适或管理不妥当甚至会造成生产无法正常进行，刀具则无法正常使用。

曾经有过这样一个例子，某生产线采用一种挤压丝锥加工发动机零件的螺纹孔时，突然频频出现闷刀现象，严重影响加工效率，甚至造成加工废品，按照常规思路解决此问题时，更换不同的刀具都没有明显的效果和变化，再请维修人员调整设备，问题还是依然存在。后来提出从整个系统进行考虑，看看整个系统中存在哪些变量、发生过什么变化，结果发现最近更换过切削液，于是立即检查，发现切削液浓度偏低，终于在两次提高切削液浓度，而刀具等其他因素未做任何改变的情况下生产又恢复了正常。

又如，某生产线的加工工位突然发生所加工的工件表面粗糙度达不到技术规范要求的情况。按照习惯性理念，在设备、工件毛坯等因素未有过改变的情况下，表面粗糙度不合

格很可能是刀具出了问题，但多次更换刀具，所加工工件的表面粗糙度并没有改善，刀具检测的结果也表明，刀具本身并没有发生过变化。最后发现系统中唯一发生过改变的就是切削液换了牌号，换回原牌号切削液之后，一切恢复正常。为了确认，又再次将起先那种牌号和规格的切削液放入机床进行加工试验，结果原先的问题又出现，而这种切削液在别的加工工序中使用却效果良好，但却不适合这道工序的系统，所以不得不再换回原牌号和规格的切削液，于是生产又一切恢复正常。

在生产实践中经常会遇到类似的情况，在生产中发生所加工出来的孔的表面粗糙度达不到要求，多次更改、更换刀具都不能解决问题，更换切削液或增加切削液浓度，问题就迎刃而解。

还有一例也是说明系统中一个变量的变化所可能产生的对整个系统的影响。在一种发动机缸盖的加工中，有一把使用一直很正常的刀具突然变得工作寿命特别短，查了刀具材质、刃磨等各方面的情况都未发现异常情况，于是再扩大对整个系统各方面的检查，发现原来是机床上的切削液滤网有损坏，未经滤网过滤掉的微小的铝屑随切削液流动堵住了刀具的内冷孔，影响了切削加工过程中刀具的冷却润滑，造成刀具寿命急剧下降。

又如铣削加工出来的工件表面质量达不到要求，更换多家刀具供应商的不同改进的铣刀都仍达不到要求，最终更换机床主轴后，所加工的工件质量达到了要求，发现问题的真正根源并不在刀具，而是系统中的其他因素发生了问题。

诸如机床主轴的跳动，加工过程中的振动，刀具的动平衡，切削液的品种、浓度、压力和流量，刀具的预调整，切削参数的匹配等，都会对切削加工的结果发生重大影响，需要加以关注，而影响切削加工结果的原因还远远不止这些。

为了提高切削加工效率，近年来高效切削获得了广泛应用。而对于汽车制造业的切削加工来说，实现真正的高效加工，追求的不仅是单台机床的高切削效率，而是整条生产线的高切削效率，整个系统的高效率。这其中包括采用高切削速度、大进给量、大切削余量加工以及减少换刀频次、缩短上下料和各种等待与停机等辅助时间，消除生产线中的瓶颈，等等。所应用的刀具和机床就要适应这样的工作条件，设备开动率要高；同时还要具有合理的刀具寿命即经济耐用度，换刀次数少和换刀时间短，其分摊到每件工件上的制造成本要具有市场竞争力，也即性价比要高，投入产出比要高。这不仅需要合理的工艺安排、合适的机床设备和高效的刀具，而且需要有科学的管理和完善的控制体系以及快速、可靠的刀具供应物流体系等，需要通过高效切削技术和先进刀具的应用及其相应的科学管理，显著提高生产率，降低包括加工废品率、切削液消耗、刀具消耗等在内的制造费用，适应柔性化生产和提高企业核心竞争力的需要。

站在这个高度看，切削加工这个系统就更大，它不仅是被加工工件和加工装置、加工介质组成的物质系统，还包括刀具的寿命控制、刃磨、调整、采购供应管理、成本核算和控制等组成的管理系统，切削参数设定和调刀与修磨规范等组成的技术系统，切削数据库和刀具管理软件等组成的信息系统等。

切削加工是一个复杂的大系统，系统中的多个因素和多个变量影响着这个系统的输出。这个系统中还存在多个子系统，主要有工艺系统、切削摩擦学系统、刀具系统、刀具

管理系统、切削液系统、工件系统、机床系统、夹具系统、切削加工质量控制系统等，另外还有操作者的因素等影响。

这个系统的输入是待加工的工件和各种加工要求，输出是加工的结果，即已被加工完成的工件及其加工形状、尺寸、位置、表面形貌和质量稳定性，实现的加工效率和花费的加工成本等。在这个切削加工系统中，工件是一个较特殊的要素，它作为待加工的毛坯是切削加工系统的输入，可是进入切削加工系统后，在切削摩擦学系统中它又成为系统中的一个组成部分与系统中的其他要素发生着相互作用。

切削加工系统的特点是它的整体性和相关性，从输入到输出，经过切削加工系统中各个因素和变量的作用，最终系统的输出是否满足预定的要求，是我们最为关注的，而且这个输出本身就是一个整体，即加工的质量、效率和成本是一体的，仅单项输出合格仍不符合对系统的整体要求。面对切削加工的复杂性和系统性，研究、分析和处理切削加工问题的关键就是要把握住切削加工问题的系统性、整体性和其中各个变量之间的相关性。

由于各种原因和条件的限制，现在有关切削加工的教学、研究、生产以及刀具的设计、制造等，往往还是局限于各自所在的原有领域、原有专业较单一地进行工作，还未能从切削加工系统、整体的角度出发考虑和处理问题。例如，讲金属切削原理和刀具设计主要就是围绕刀具进行；讲高速加工考虑的主要是高速加工对刀具和机床的要求；讲涂层主要考虑的是涂层本身的结构、硬度等，未能很好给出涂层应用中对切削系统其他方面的要求；刀具制造企业推荐刀具时介绍的主要是刀具的优点，未能给出该种刀具对切削加工系统其他方面的要求以及其受约束的条件；讲提高切削效率时，往往考虑的是单把刀具切削效率的提高，未能考虑该刀具与工序中其他刀具的关系，该刀具效率的提高所受系统中其他因素的约束，更不用说考虑对整条生产线最终加工结果的影响；讲降低刀具成本时，刀具销售者说，刀具只占产品制造成本的3%~4%，关键在于切削效率的提高，可是忘了对于汽车制造切削加工的流水生产来说，如瓶颈工位的切削效率不能提高的话，其他工序刀具切削效率的提高并无多大实际意义；进行刀具成本分析时，刀具使用者说，刀具消耗费用占了制造费用中相当大的一块，必须有显著的下降，可是却未考虑在很多情况下，刀具的消耗费用在很大程度上在生产线的工艺设计阶段就已经被基本决定了，而且有可能在工艺设计阶段所选用的切削加工方式和切削参数节省了投资却导致以后生产阶段的刀具消耗增加，至于这种一次性投资的节约和以后长期的刀具消耗费用增加之间的关系究竟如何却未能进行全面和科学的分析，如果当时所节省的一次性投资费用能足以大大高于以后合理期限内的日常消耗刀具费用的增加那可能是值得的，只不过人们需要认识到这一点，并采取相应合适的对策。

不管怎样讲，对于汽车制造切削加工来说，各种先进加工方法和先进切削刀具的采用只是一种手段，高速加工也只是一种手段，高效率、低成本才是目的。而要达到这一目的，需要关注的是整个切削加工系统，关注的是切削加工系统的输出是否理想，是否加工质量稳定、生产率高、加工成本受控和具有竞争力。因此必须将切削加工作为一个系统来对待和分析、处理，将影响切削加工系统输出的各个要素和变量、各个子系统联系起来统一考虑。

切削加工系统中的各个部分各个子系统各有其独特的功能和特点，又与系统中的其他部分其他子系统紧密相联，相互作用，共同决定和影响着切削加工系统的输出。

切削加工系统中的工艺系统是整个切削加工系统的基础，工艺设计和安排决定了切削加工系统的基本构成和系统运作的前提条件。

切削摩擦学系统是切削加工的核心部分；被加工工件、刀具、切削液和切屑组成了这个系统中的基本要素；切削过程中刀具与工件、切屑的相互运动和作用，工件材料的变形，新的工件表面的形成，切屑的形成和流出，切削力、摩擦力、切削热、摩擦热的产生和效应，都影响和决定着切削的结果。

刀具是机械加工中和工件发生直接接触，去除材料或使材料发生变形，达到所需要的尺寸、精度和表面粗糙度的加工工具，机床等设备要通过刀具才能实现其加工功能。刀具本身又是一个复杂的子系统，涉及刀具的结构设计、切削刃的形状和处理、刀具的材料、表面涂层、刀体、刀柄、刀具调整和刃磨等，这些因素之间又相互作用，共同影响刀具在切削加工过程中的切削性能表现。而刀具又是切削加工中最活跃的因素，相对于系统中的其他因素，对刀具进行改变相对容易，从而影响和改变切削加工系统的构成和性能，并进而影响系统的输出。

切削加工系统是技术与管理的结合，其中刀具管理系统是这个系统中的一个重要组成部分。高速、高效加工和刀具新技术的应用需要有先进的刀具管理才能发挥应有的作用。刀具需要预调整、维护和保养，刀具寿命需要得到有效控制，需要有完善的系统和一系列的管理来确保生产线及时得到符合要求的、质量稳定的、数量足够的刀具，并在发生加工问题或刀具问题时得到快速的响应和支持，迅速分析和解决出现的问题，以使生产正常进行。并且包含刀具费用在内的制造成本需要受到控制，应具有市场竞争力，以真正实现高速加工所可能带来的高效益。这些都和刀具管理系统的性能和运行情况有关。

机床是提供刀具与工件相对运动和所需功率的载体，是获得所需加工精度的基础，是实现各种动作控制的保证。

夹具是确保工件正确定位与夹紧，保证切削加工过程中工件与刀具之间位置始终正确的装置。夹具不合适会导致切削加工精度失控，还会导致刀具的非正常损耗。

还有，操作者的素质和技能、对切削加工系统的熟悉和处理问题的经验等也会对切削加工系统的输出发生一定的影响。

根据各个汽车制造企业的具体情况，为提高企业核心竞争力还可将业务外包系统应用于切削加工系统中。所谓业务外包，就是授权给企业外部的专业服务机构或合作伙伴管理和从事自己的部分业务，利用它们的专长和优势来提高企业的整体效率和竞争力，企业仍然从总体上负责控制、战略策划和集成，对整个企业的发展战略保持控制。而这其中与汽车制造企业的核心业务切削加工紧密相关的刀具管理业务的外包又有其不同于一般非核心业务外包的特点。在实施了刀具管理业务外包的情况下，刀具管理外包系统也是切削加工大系统中的一个子系统，而且这个系统与切削加工系统中的其他子系统发生着紧密的联系，同时又与企业管理中的其他系统发生着联系和相互作用，有其一系列特殊的要求和控制方法，需要和切削加工系统联系起来统一考虑和处理。

另一方面,随着现代电子、信息技术的发展和经济全球化的发展,数字化制造已经逐渐渗透到了产品设计、制造工程、物流安排、生产过程和企业管理等各个方面。这是一个大的背景和趋势,这对切削加工这个大系统也正在发生着重要影响。

在汽车制造切削加工的工艺设计、项目实施和生产制造过程中,我们经常会遇到以下问题:如何安排制造过程?使用什么样的设备和刀具?工件的加工精度和表面粗糙度达不到要求该如何处理?切削加工中经常发生刀具的折断或异常磨损该从何处着手分析和解决?刀具消耗费用居高不下是什么原因?如何将制造成本降下来,又将加工效率提高上去?可供使用的资源有限又怎么办?诸如此类的问题需要获得合适的答案。

既然切削加工是个系统问题,就只能用系统的观点和方法来分析和处理。以系统的观点和方法来分析和解决切削加工中的问题,就不能将切削加工系统中的问题孤立地、静止地、分割开来看待和处理,在很多情况下生产中发生的加工问题,表面看起来似乎是刀具的问题,真正的原因却可能是其他的因素,管理系统的问题也有可能影响切削加工的高效进行,这方面已有实践中的多个实例给予了有力的支持和说明。

对于切削加工系统这样的有着多个要素和变量的复杂的大系统,我们需要对其各个子系统都有所了解,打破专业的界限,一方面了解各子系统本身的专业特点,一方面寻找和发现各子系统之间的相互联系和相互作用、各子系统内部各因素之间的相互联系和相互作用。为了找到切削加工中问题的真正原因,需要通过对系统总体的了解,把握各子系统与各因素之间的相互联系及其影响,为了获得相对理想的系统输出,需要根据这些因素的相互作用及其制约特点,采取相应的措施,重要的是要找到合适的平衡点,获得最佳的配合。

切削加工系统工程的发展和应用,就是要从总体上把握系统的构成、运行、改善和发展,就是要全面地、科学地分析切削加工问题;注重事物之间的联系和交互作用,关注动态和发展;强调控制,建立合适的工作体系和控制机制,将有限的人力、物力、财力资源运用到正确的方向,以使切削加工真正成为高效加工,为企业核心竞争力的不断增强发挥作用。

一、系统工程的基本概念

现代切削加工所面临的要求越来越高,汽车制造切削加工生产中所遇到和需要解决的问题也越来越复杂,因此能够帮助我们思考并解决这些复杂问题的方法显得越来越重要。系统工程就是这其中的一种重要方法。

在科学技术的发展过程中,分析的方法起着非常重要的作用。近代自然科学发展了研究自然界的独特的分析方法,包括实验、解剖和观察,把自然界的细节从总的自然联系中抽出来,分门别类地加以研究,专门化的倾向越来越明显,学科越分越细,新的学科分支越来越多,它使科学技术不断向纵深发展。但是学科越分越细也可能使人在研究分析问题中失去全貌,反而搞不清,有可能造成科学家和工程技术人员的视野越来越窄,各专业技术人员之间越来越不了解,彼此缺乏交流的共同语言,使得某些具有共性的科学成果无法得到交流和推广,造成科学研究和技术问题的解决中对事物的片面认识。而当代社会中的许多事物和需要解决的问题正越来越复杂,要解决这样复杂的问题绝非单一学科知识能够支撑,而是依赖于多门学科知识的有机结合。现代制造过程和制造技术也同样如此。

现代科学技术突飞猛进,两种趋势都很明显。在学科越分越细、新的学科分支越来越多这种发展趋势的同时,另一种趋势就是综合的趋势,交叉学科不断产生,过去看来不太相关的学科,今天却交叉走向一体化的方向,今后这一趋势将更引人注目。

系统工程是近三十年发展起来的一门新兴的综合学科,它研究人类进入现代化社会后所面临的各种综合性问题。系统工程与系统科学是当代世界上最有影响力的一种综合性基础学科,它的应用已经渗透到工业、农业、国防、交通运输等各个部门和工程技术、经济管理、生物医药等各种领域,同时现代科学技术的发展又不断丰富和增加系统工程与系统科学博大精深的内涵,拓展其理论和方法。

系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的工程技术,它是运用系统观点和系统方法处理复杂工程、科研和生产任务而创造的方法。它的理论基础即技术科学是运筹学、控制论和信息论。运筹学中的线性规划、非线性规划、博弈论、排队论、库存论、决策论、搜索论等都是系统工程可以应用的方法。

系统工程通过应用概率、统计、模拟、建立系统模型、进行系统结构分析、功能分

析、网络分析、综合平衡和运筹及最优化等方法,对组织和管理对象进行分析,实施综合协调和平衡,求得系统总体的最佳结果。

1. 系统的基本概念

所谓系统是指由互相关联、互相制约、互相作用的一些部分组成的具有某种功能的总体。

(1) 系统要素 即系统的组成部分。系统是由诸要素(组成部分)组成的整体,组成部分本身也可能是一个系统,成为原系统的子系统。而原系统又可能是更大系统的组成部分。

(2) 系统结构 诸要素互相关联、互相作用、互相制约所构成的组织形式叫作系统的结构。一切系统均有结构,结构是系统的普遍属性,没有无结构的系统,也没有离开系统的结构。结构具有不同的形式,其基本形式有:数量结构、时序结构、空间结构和逻辑结构;还可以把结构划分为平衡结构、非平衡结构、有序结构和非有序结构等。

(3) 系统环境 系统环境是指存在于所研究分析的系统以外的事物(物质、能量、信息)的总称。系统和系统环境的分界是系统边界。另一方面要认识到,系统时刻处于环境之中,环境是一种更高级、更复杂的系统。

(4) 系统输入 环境对系统的作用叫作系统输入。

(5) 系统输出 系统对其环境的作用叫作系统输出。

(6) 系统功能 系统整体与环境相互作用所反映的能力称为系统功能。系统功能反映系统与外部环境的关系,表达出系统的性质和行为。系统功能体现了一个系统与外部环境之间的物质、能量和信息的输入与输出的转换关系。系统功能通过输入输出关系表现出来,系统结构和系统环境影响着系统功能。系统的总功能大于各组成部分功能的简单相加。系统功能具有相对性,功能关系和结构关系在一定条件下可以互相转化。在一个大系统内部,其要素之间的相互作用本来属于系统结构关系,但如果把每个要素或子系统作为一个系统整体来考虑,则子系统之间的相互作用又转化为独立子系统之间的功能关系。系统功能的发挥需进行有效的控制。

(7) 系统状态 系统每个时刻所处的情况叫作系统状态。系统状态随时间的变化叫作系统行为。

(8) 系统层次 系统可以划分为不同的层次,层次的划分具有相对性。任何所研究的系统是更高一级系统的组成要素,而任何所研究的要素又是更低一级的系统。

2. 系统的特性

一般系统都具有以下特性:

(1) 整体性 任何一个要素不能离开整体去研究,要素间的联系和作用也不能脱离整体的协调去考虑。系统不是各个要素的简单集合,否则它就不会具有作为整体的特定功能。脱离了整体性,要素的机能和要素间的作用便失去了原有的意义,仅研究任何事物单独的部分不能得出有关整体性的结论。系统工程在本质上要求将复杂问题作为一个整体来思考,通过定性和定量相结合的方法研究系统与环境、系统内部各要素之间的关联,寻求一条优化的解决问题的方案和途径。

(2) 相关性 组成系统的要素是相互联系、相互作用的,相关性说明这些联系之间的特定关系以及这些关系之间的演变规律。各子系统之间具有密切的关系,相互影响、相互制约、相互作用。

(3) 环境适应性 任何一个系统都存在于一定的环境中,它与环境存在着联系,与环境会发生物质、能量和信息的交换。同时,环境的变化必然引起系统内部各要素之间的变化。能够经常与环境保持最佳适应状态的系统,才是理想的系统,系统才能稳定和不断发展;不能适应环境变化的系统是难以存在的。这也正说明,系统所处的环境又是系统的限制条件或者称为约束条件。而系统对于环境的适应性,也可以说是系统稳定性在系统外部关系中的表现。

系统是一个由相互关联、相互制约的各个部分所组成的具有特定功能的有机整体。系统组成部分通过物质、能量和信息等形式实现相互关联、制约和作用,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。同时系统不仅有实体部分,还有赖以形成的概念部分。

具有相同组成部分的系统可具有不同的系统功能,因为它们的关联、制约、作用关系不同。改变系统组成部分或者改变其相互关联、制约、作用关系可以改变系统功能,特别是使系统具有我们所希望的功能。这是控制论、运筹学、系统学的基本思想,也是系统工程应用的基本目的。

3. 系统的稳定与失稳

系统是随时间而变化着的。当系统处于稳定状态时,只经历着量的变化;当量变达到一个临界点时,系统就处于失稳状态,发生质变,进入一个新的状态。系统随着时间的延续,由一种稳定状态进入另一种稳定状态时,系统就以一种新的稳态结构代替原来的的稳态结构。

系统的稳定性指的是,在外界作用下,系统具有一定的自我稳定的能力,能够在一定范围内自我调节,从而保持和恢复原来的有序状态,保持和恢复原有的结构和功能。

系统要稳定,就需要系统内部存在某种稳定的机制。

从反馈角度看,系统的稳定性与负反馈相联系,而不稳定则与正反馈相联系。系统中实际上是正负反馈共存的,如果系统之中仅仅存在负反馈,仅仅强调系统的稳定,不允许任何对于系统目标的偏离,这样的系统就没有发展能力。

传统上所理解的稳定性,是一种平衡的、静止的稳定性;而现代系统工程中所讲的稳定性是非平衡的、发展的稳定性,是系统在非平衡状态下保持自身有序性的稳定的能力。系统的稳定性是系统在发展中的稳定性。

4. 系统的控制

所谓控制,是指对一个系统根据内部和外部的各种变化进行调整,不断克服系统随机性,使系统保持某种状态或实现某一系统目标。

进行控制的一个重要方法是反馈控制,反馈控制方法是控制论的核心思想和方法。反馈是在一个闭环控制系统中,由输出的回输来实施系统控制。运用反馈概念去分析、处理系统控制问题的思维方法叫反馈控制法。其核心思想是利用系统给定信息与反馈信息的差

异来解决系统确定性和不确定性之间的矛盾。任何一个需要控制的系统都是处于一个变化着的错综复杂的环境中,控制系统的稳定性经常受到来自环境的作用和干扰,因此控制系统必须抗拒系统内外的扰动作用。由于环境对控制系统的干扰因素很多,随机性也很强,人们一般很难通过直接获取扰动信息来控制或消除系统的干扰和影响。运用反馈控制法可以绕过这一困难,它不需要直接获取干扰和影响系统的具体信息,而是依据控制系统输出量偏离系统目标值的信息,就可以调节和控制系统。

反馈有两大类型,一种是负反馈系统,另一种是正反馈系统。负反馈系统的本质是通过系统调节,不断地把其控制的结果与系统目标作比较,使得系统输出与目标值的差值越来越小,直至最终达到系统目标。正反馈系统本质上是一个失控的过程,系统通过反馈使系统向着进一步偏离目标的方向进行调整,系统越来越偏离系统的原有状态,而发展成另一种状态。在既无正反馈又无负反馈的情况下,系统的变化是随机的。

除了反馈控制外,还有一种控制方法叫做前馈控制。由于受控系统存在惯性,影响到检出偏差和纠正偏差的时效或作用,产生控制的滞后现象,影响控制的性能和效率。通过前馈控制,在干扰因素影响到输出之前就通过一定的装置将控制指令送到系统中去进行调节和控制,以克服或减少系统外部的扰动影响。这需要在系统发生偏离前就预测有可能干扰系统的因素,提前采取对策和措施。通常需要把这种前馈控制方法与反馈控制方法结合起来使用,形成前馈—反馈控制系统,以达到更好的控制效果。

根据输入和输出的关系,可以把控制系统划分为三类:

第一类,开环控制系统,是指输入直接控制输出而不受输出影响的控制系统。

第二类,闭环控制系统,是指用输入控制输出,同时根据输出的回输(反馈)来调整输入的控制系统。

第三类,组合控制系统,是把以上两者结合起来的控制系统。

为了实现控制就需要进行系统辨识,找出能够完全描述系统状态的所有变量,区分输入量、受控量和控制量等不同类别,把以机械的、电的、光的、声的等各种物理信号形式表现出来的变量从各种偶然因素和噪声中提取出来,确定各种变量在各种不同条件下的变化规律,用滤波、预测、相关处理、逼近等方法从噪声中分离出具有本质意义的信息以及寻求各变量之间的相互依赖程度。

几乎所有的工程系统都有这样的特性,即为达到同一个目标,存在着许多控制策略,不同的控制策略所付出的代价也各不相同,例如能量消耗、所费时间的长短、材料、人力和资金的消耗等均不相同。研究如何以最小的代价达到控制的目的,就是最优控制。

5. 系统工程及其应用正处于不断的探索和发展中

一个复杂的大系统,会出现多个目标,存在一个多级结构的目标系统。另外,对于大规模系统来说,即使是在同样输入和输出以及同样约束条件下,完成系统目标也总是可以采用多种不同的技术方案去实现。在研究和解决复杂系统的问题时,为了达到预期目的,如何选择解决方案,优劣的衡量标志是什么,如何进行评价,是系统工程应用中经常遇到的问题。

由于系统的复杂性和影响因素众多,且很多情况下这些影响因素之间的关系及其对系