

“十三五”国家重点图书出版规划项目

智能制造
系列丛书

工作研究2.0

信息问题精益改善的
理论与方法

孔繁森 孔亮 著



WORK STUDY2.0

THE THEORY AND METHOD OF LEAN IMPROVEMENT
FOR INFORMATION PROBLEMS

清华大学出版社
北京

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

工作研究 2.0: 信息问题精益改善的理论与方法/孔繁森,孔亮著. —北京: 清华大学出版社, 2023. 6

(智能制造系列丛书)

ISBN 978-7-302-63591-8

I. ①工… II. ①孔… ②孔… III. ①智能制造系统—信息系统—研究 IV. ①TH166

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 093525 号

责任编辑: 刘 杨

封面设计: 李召霞

责任校对: 欧 洋

责任印制: 丛怀宇

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京嘉实印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 170mm×240mm 印 张: 15.25

字 数: 312 千字

版 次: 2023 年 7 月第 1 版

印 次: 2023 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 108.00 元

产品编号: 099456-01

智能制造系列丛书编委会名单

主 任：

周 济

副主任：

谭建荣 李培根

委 员(按姓氏笔画排序)：

王 雪	王飞跃	王立平	王建民
尤 政	尹周平	田 锋	史玉升
冯毅雄	朱海平	庄红权	刘 宏
刘志峰	刘洪伟	齐二石	江平宇
江志斌	李 晖	李伯虎	李德群
宋天虎	张 洁	张代理	张秋玲
张彦敏	陆大明	陈立平	陈吉红
陈超志	邵新宇	周华民	周彦东
郑 力	宗俊峰	赵 波	赵 罡
钟诗胜	袁 勇	高 亮	郭 楠
陶 飞	霍艳芳	戴 红	

丛书编委会办公室

主 任：

陈超志 张秋玲

成 员：

郭英玲	冯 昕	罗丹青	赵范心
权淑静	袁 琦	许 龙	钟永刚
刘 杨			

清华大学出版社

制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。习近平总书记在党的十九大报告中号召:“加快建设制造强国,加快发展先进制造业。”他指出:“要以智能制造为主攻方向推动产业技术变革和优化升级,推动制造业产业模式和企业形态根本性转变,以‘鼎新’带动‘革故’,以增量带动存量,促进我国产业迈向全球价值链中高端。”

智能制造——制造业数字化、网络化、智能化,是我国制造业创新发展的主要抓手,是我国制造业转型升级的主要路径,是加快建设制造强国的主攻方向。

当前,新一轮工业革命方兴未艾,其根本动力在于新一轮科技革命。21 世纪以来,互联网、云计算、大数据等新一代信息技术飞速发展。这些历史性的技术进步,集中汇聚在新一代人工智能技术的战略性突破,新一代人工智能已经成为新一轮科技革命的核心技术。

新一代人工智能技术与先进制造技术的深度融合,形成了新一代智能制造技术,成为新一轮工业革命的核心驱动力。新一代智能制造的突破和广泛应用将重塑制造业的技术体系、生产模式、产业形态,实现第四次工业革命。

新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式形成历史性交汇,智能制造是一个关键的交汇点。中国制造业要抓住这个历史机遇,创新引领高质量发展,实现向世界产业链中高端的跨越发展。

智能制造是一个“大系统”,贯穿于产品、制造、服务全生命周期的各个环节,由智能产品、智能生产及智能服务三大功能系统以及工业物联网和智能制造云两大支撑系统集成而成。其中,智能产品是主体,智能生产是主线,以智能服务为中心的产业模式变革是主题,工业物联网和智能制造云是支撑,系统集成将智能制造各功能系统和支撑系统集成成为新一代智能制造系统。

智能制造是一个“大概念”,是信息技术与制造技术的深度融合。从 20 世纪中叶到 90 年代中期,以计算、感知、通信和控制为主要特征的信息化催生了数字化制造;从 90 年代中期开始,以互联网为主要特征的信息化催生了“互联网+制造”;当前,以新一代人工智能为主要特征的信息化开创了新一代智能制造的新阶段。

这就形成了智能制造的三种基本范式,即:数字化制造(digital manufacturing)——第一代智能制造;数字化网络化制造(smart manufacturing)——“互联网+制造”或第二代智能制造,本质上是“互联网+数字化制造”;数字化网络化智能化制造(intelligent manufacturing)——新一代智能制造,本质上是“智能+互联网+数字化制造”。这三个基本范式次第展开又相互交织,体现了智能制造的“大概念”特征。

对中国而言,不必走西方发达国家顺序发展的老路,应发挥后发优势,采取三个基本范式“并行推进、融合发展”的技术路线。一方面,我们必须实事求是,因企制宜、循序渐进地推进企业的技术改造、智能升级,我国制造企业特别是广大中小企业还远远没有实现“数字化制造”,必须扎扎实实完成数字化“补课”,打好数字化基础;另一方面,我们必须坚持“创新引领”,可直接利用互联网、大数据、人工智能等先进技术,“以高打低”,走出一条并行推进智能制造的新路。企业是推进智能制造的主体,每个企业要根据自身实际,总体规划、分步实施、重点突破、全面推进,产学研协调创新,实现企业的技术改造、智能升级。

未来 20 年,我国智能制造的发展总体将分成两个阶段。第一阶段:到 2025 年,“互联网+制造”——数字化网络化制造在全国得到大规模推广应用;同时,新一代智能制造试点示范取得显著成果。第二阶段:到 2035 年,新一代智能制造在全国制造业实现大规模推广应用,实现中国制造业的智能升级。

推进智能制造,最根本的要靠“人”,动员千军万马、组织精兵强将,必须以人为本。智能制造技术的教育和培训,已经成为推进智能制造的当务之急,也是实现智能制造的最重要的保证。

为推动我国智能制造人才培养,中国机械工程学会和清华大学出版社组织国内知名专家,经过三年的扎实工作,编著了“智能制造系列丛书”。这套丛书是编著者多年研究成果与工作经验的总结,具有很高的学术前瞻性与工程实践性。丛书主要面向从事智能制造的工程技术人员,亦可作为研究生或本科生的教材。

在智能制造急需人才的关键时刻,及时出版这样一套丛书具有重要意义,为推动我国智能制造发展作出了突出贡献。我们衷心感谢各位作者付出的心血和劳动,感谢编委会全体同志的不懈努力,感谢中国机械工程学会与清华大学出版社的精心策划和鼎力投入。

衷心希望这套丛书在工程实践中不断进步、更精更好,衷心希望广大读者喜欢这套丛书、支持这套丛书。

让我们大家共同努力,为实现建设制造强国的中国梦而奋斗。

周济

2019 年 3 月

技 术进展之快,市场竞争之烈,大国较劲之剧,在今天这个时代体现得淋漓尽致。

世界各国都在积极采取行动,美国的“先进制造伙伴计划”、德国的“工业 4.0 战略计划”、英国的“工业 2050 战略”、法国的“新工业法国计划”、日本的“超智能社会 5.0 战略”、韩国的“制造业创新 3.0 计划”,都将发展智能制造作为本国构建制造业竞争优势的关键举措。

中国自然不能成为这个时代的旁观者,我们无意较劲,只想通过合作竞争实现国家崛起。大国崛起离不开制造业的强大,所以中国希望建成制造强国、以制造而强国,实乃情理之中。制造强国战略之主攻方向和关键举措是智能制造,这一点已经成为中国政府、工业界和学术界的共识。

制造企业普遍面临着提高质量、增加效率、降低成本和敏捷适应广大用户不断增长的个性化消费需求,同时还需要应对进一步加大的资源、能源和环境等约束之挑战。然而,现有制造体系和制造水平已经难以满足高端化、个性化、智能化产品与服务的需求,制造业进一步发展所面临的瓶颈和困难迫切需要制造业的技术创新和智能升级。

作为先进信息技术与先进制造技术的深度融合,智能制造的理念和技术贯穿于产品设计、制造、服务等全生命周期的各个环节及相应系统,旨在不断提升企业的产品质量、效益、服务水平,减少资源消耗,推动制造业创新、绿色、协调、开放、共享发展。总之,面临新一轮工业革命,中国要以信息技术与制造业深度融合为主线,以智能制造为主攻方向,推进制造业的高质量发展。

尽管智能制造的大潮在中国滚滚而来,尽管政府、工业界和学术界都认识到智能制造的重要性,但是不得不承认,关注智能制造的大多数人(本人自然也在其中)对智能制造的认识还是片面的、肤浅的。政府勾画的蓝图虽气势磅礴、宏伟壮观,但仍有很多实施者感到无从下手;学者们高谈阔论的宏观理念或基本概念虽至关重要,但如何见诸实践,许多人依然不得要领;企业的实践者们侃侃而谈的多是当年制造业信息化时代的陈年酒酿,尽管依旧散发清香,却还是少了一点智能制造的

气息。有些人看到“百万工业企业上云,实施百万工业 APP 培育工程”时劲头十足,可真准备大干一场的时候,又仿佛云里雾里。常常听学者们言,CPS(cyber-physical systems,信息物理系统)是工业 4.0 和智能制造的核心要素,CPS 万不能离开数字孪生体(digital twin)。可数字孪生体到底如何构建?学者也好,工程师也好,少有人能够清晰道来。又如,大数据之重要性日渐为人们所知,可有了数据后,又如何分析?如何从中提炼知识?企业人士鲜有知其个中究竟的。至于关键词“智能”,什么样的制造真正是“智能”制造?未来制造将“智能”到何种程度?解读纷纷,莫衷一是。我的一位老师,也是真正的智者,他说:“智能制造有几分能说清楚?还有几分是糊里又糊涂。”

所以,今天中国散见的学者高论和专家见解还远不能满足智能制造相关的研究者和实践者们之所需。人们既需要微观的深刻认识,也需要宏观的系统把握;既需要实实在在的智能传感器、控制器,也需要看起来虚无缥缈的“云”;既需要对理念和本质的体悟,也需要对可操作性的明晰;既需要互联的快捷,也需要互联的标准;既需要数据的通达,也需要数据的安全;既需要对未来的前瞻和追求,也需要对当下的实事求是……如此等等。满足多方位的需求,从多视角看智能制造,正是这套丛书的初衷。

为助力中国制造业高质量发展,推动我国走向新一代智能制造,中国机械工程学会和清华大学出版社组织国内知名的院士和专家编写了“智能制造系列丛书”。本丛书以智能制造为主线,考虑智能制造“新四基”[即“一硬”(自动控制和感知硬件)、“一软”(工业核心软件)、“一网”(工业互联网)、“一台”(工业云和智能服务平台)]的要求,由 30 个分册组成。除《智能制造:技术前沿与探索应用》《智能制造标准化》《智能制造实践》3 个分册外,其余包含了以下五大板块:智能制造模式、智能设计、智能传感与装备、智能制造使能技术以及智能制造管理技术。

本丛书编写者包括高校、工业界拔尖的带头人和奋战在一线的科研人员,有着丰富的智能制造相关技术的科研和实践经验。虽然每一位作者未必对智能制造有全面认识,但这个作者群体的知识对于试图全面认识智能制造或深刻理解某方面技术的人而言,无疑能有莫大的帮助。丛书面向从事智能制造工作的工程师、科研人员、教师和研究生,兼顾学术前瞻性和对企业的指导意义,既有对理论和方法的描述,也有实际应用案例。编写者经过反复研讨、修订和论证,终于完成了本丛书的编写工作。必须指出,这套丛书肯定不是完美的,或许完美本身就不存在,更何况智能制造大潮中学界和业界的急迫需求也不能等待对完美的寻求。当然,这也不能成为掩盖丛书存在缺陷的理由。我们深知,疏漏和错误在所难免,在这里也希望同行专家和读者对本丛书批评指正,不吝赐教。

在“智能制造系列丛书”编写的基础上,我们还开发了智能制造资源库及知识服务平台,该平台以用户需求为中心,以专业知识内容和互联网信息搜索查询为基础,为用户提供有用的信息和知识,打造智能制造领域“共创、共享、共赢”的学术生

态圈和教育教学系统。

我非常荣幸为本丛书写序,更乐意向全国广大读者推荐这套丛书。相信这套丛书的出版能够促进中国制造业高质量发展,对中国的制造强国战略能有特别的意义。丛书编写过程中,我有幸认识了很多朋友,向他们学到很多东西,在此向他们表示衷心感谢。

需要特别指出,智能制造技术是不断发展的。因此,“智能制造系列丛书”今后还需要不断更新。衷心希望,此丛书的作者们及其他的智能制造研究者和实践者们贡献他们的才智,不断丰富这套丛书的内容,使其始终贴近智能制造实践的需求,始终跟随智能制造的发展趋势。



2019年3月

清华大学出版社

清华大学出版社

工作研究是 20 世纪初由泰勒、吉尔布雷斯等人建立的工业工程基本方法体系,是一个由宏观到微观解决现场管理技术问题的科学方法体系。它由方法研究和时间测定两大技术组成。而方法研究又由程序分析、操作分析和动作分析组成,在管理现场改善过程中需遵循 ECRS、流程经济性和动作经济性原则。工作研究的基本目的是对现有的各项作业、工艺和工作方法进行系统分析,寻求完成某项工作的最经济合理的方法,达到减少人员、机器以及无效动作和物料消耗的目的,并使工作方法标准化;从人的角度考虑,工作研究的核心目的是降低人的劳动负荷提升流程和动作的经济性。进入工业 4.0 时代,自动化程度大幅上升,信息化和数字化技术的快速发展使人们在完成任务过程中消耗的物理负荷比例下降,而信息负荷或者认知负荷比例上升。传统工作研究解决问题的方法需要升级。借由各种技术方法 X.0 的东风,作者提出了工作研究 2.0 的概念,即考虑信息(认知)负荷的工作研究。工作研究 2.0 在原工作研究方法体系基础上对称性地增加了信息研究与复杂性测定,以及在管理现场改善过程中所应遵循的信息加工经济原则。

本书共包括 9 章内容,第 1 章介绍了本书研究内容的背景和意义,并对相关研究的国内外现状进行了综述。第 2 章系统地给出了工作研究 2.0 理论框架。第 3 章介绍了作者提出的信息场的概念、测度与应用。从现场管理的角度给出了信息场场作用特征值的确定方法。按照管理颗粒度和信息需求空间的变化实现了制造系统信息场的可视化。并阐明了在信息场框架下对制造系统进行改善和优化所应遵循的信息原则和改善流程。第 4 章和第 5 章分别介绍了信息流价值的定性定量评价方法。第 6 章主要介绍了信息引擎的概念和作者提出的信息引擎-场作用模型,该模型为信息流的改善提供了切实可行的方法。第 7 章在简单回顾动作经济原则基础上给出了信息加工经济原则和改善案例,并在此基础上构建了工作站任务复杂性的定性分析与定量测度的理论方法框架。第 8 章给出了建立在工作研究 2.0 理论方法基础上的全要素现场改善方法案例。第 9 章介绍了作者在信息研究过程中所涉猎的相关研究,如分布式认知、系统化创新改善的方法工具 TRIZ 中

的流分析等内容,供读者在进一步研究中参考。

本书的研究得到吉林省科技厅的大力支持,是未来工厂规划设计吉林省重点实验室的主要研究成果。部分成果发表在 *International Journal Production Research*, *Advanced Engineering Informatics* 和《机械工程学报》上,另一部分成果尚未公开发表,现辑录于本书,希望为读者呈现完整的工作研究 2.0 理论方法的体系、框架。作者期望本书内容能够为从事基础工业工程教学的老师和学生提供参考,拓展学生们的想象空间,期望回答工业 4.0 时代工业工程的作用和价值。本书提供的工作研究 2.0 的内容是初步的,还有大量问题亟待解决,如布局与信息(认知)负荷的关系、信息场的作用机理——这个机理作者考虑很久,它是物理与意识的作用问题,期望本书能为感兴趣的研究者提供一点启迪。本书出版的另一个目的是期望为企事业的现场改善提供新的视角和方法工具。展望未来,期望借由本书的出版,促进国内更多的研究者为工业工程在工业 4.0 时代的应用贡献力量,期望对塑造 5G 时代制造业车间未来的工作空间提供理论支撑,为丰富工业工程学科理论体系,拓展精益生产方法使其适应工业 4.0 时代制造业的发展尽绵薄之力。

作者

2022 年 12 月 31 日于长春审苑

第 1 章 绪论	1
1.1 背景和意义	1
1.2 国内外研究现状及发展动态分析	2
1.3 任务复杂性和认知负荷的测度	5
1.3.1 任务复杂性测度	5
1.3.2 认知负荷的测量	6
1.4 本章小结	7
第 2 章 工作研究 2.0 理论框架	8
2.1 理论背景	8
2.2 考虑信息负荷的工作研究 2.0 理论框架	12
2.3 本章小结	16
第 3 章 制造系统中的信息场：概念、测度与应用	17
3.1 制造系统信息场的分析框架	18
3.1.1 制造系统信息场的概念框架	18
3.1.2 制造系统信息场分析的测度框架	20
3.1.3 信息场场作用的物理解释	21
3.2 现场管理应遵循的信息原则	23
3.3 案例研究	28
3.3.1 模型构建	28
3.3.2 各个工作站信息场的场强	32
3.3.3 制造系统信息场分析	35
3.3.4 学术贡献、限制和实际意义	36

3.4	本章小结	38
第 4 章	信息流价值的定性分析与定量测度	39
4.1	信息流理论概述	39
4.1.1	信息及信息流的概念	39
4.1.2	制造企业信息流的分类	40
4.1.3	信息流的特征	41
4.1.4	信息流的浪费	42
4.2	信息流的表征工具	44
4.2.1	设计结构矩阵介绍	45
4.2.2	数据流图介绍	47
4.2.3	输入-过程-输出图介绍	48
4.2.4	信息价值流映射 4.0	49
4.2.5	可视化、分析和评估信息流的方法	51
4.3	信息流表征工具与表征所应遵循的原则	52
4.3.1	信息流的可视化	52
4.3.2	基于信息流可视化原则的改善	56
4.3.3	信息流表征工具的比较	60
4.4	案例研究	61
4.4.1	案例的信息流分析与表征	61
4.4.2	信息流的改善	64
4.4.3	现场信息流改善后的可视化表征与改善效果评价	69
4.5	本章小结	71
第 5 章	信息流价值的定量评价方法	72
5.1	基于数据的信息流浪费的定量评价方法	72
5.2	信息流透明度的定量评价方法	73
5.3	建立在精益基础上的信息流浪费定量评价方法	77
5.4	经过改善的信息流浪费和透明度的定量评价方法	79
5.4.1	经过改善的信息流浪费的定量评价方法	80
5.4.2	经过改善的具有时间约束的信息流透明度定量评价方法	81
5.5	信息流定量评价方法的比较	84
5.5.1	从浪费角度对信息流定量评价方法进行比较	84
5.5.2	从透明度角度对信息流定量评价方法进行比较	86
5.6	案例研究	86
5.6.1	改善前信息流定量评价	86
5.6.2	改善后信息流定量评价	90

5.6.3	改善前后信息流浪费对比	93
5.7	本章小结	94
第 6 章	信息引擎-场作用模型	95
6.1	基本概念	95
6.1.1	整合	95
6.1.2	信息熵与热力学熵	96
6.2	信息引擎	97
6.2.1	信息引擎的内涵	97
6.2.2	信息引擎的工作步骤	98
6.2.3	信息传输效率的定量评价	99
6.3	工厂采购系统的信息研究	100
6.3.1	案例简介	100
6.3.2	不确定性和评估	101
6.3.3	信息流分析	101
6.3.4	信息流的优化	104
6.4	场作用模型	105
6.4.1	概念模型	105
6.4.2	信息引擎-场的传输模型	106
6.4.3	案例	108
6.4.4	结果讨论	111
6.5	本章小结	112
第 7 章	信息加工经济原则与工作站作业复杂性测度方法	113
7.1	动作经济原则的简要回顾	113
7.2	生产现场信息加工经济原则	114
7.2.1	人的操作行为模型	114
7.2.2	信息加工经济原则的基本概念	115
7.2.3	信息加工经济原则的作用	116
7.2.4	信息加工经济原则的进一步解读	117
7.2.5	信息加工经济原则的应用	118
7.3	作业过程与作业难度复杂性分析评价模型框架	125
7.4	生产作业综合复杂性评价指标体系	126
7.4.1	作业难度评价指标体系	126
7.4.2	生产作业复杂度评价指标的建立	134
7.4.3	生产作业的时间压力	137
7.4.4	辅助装置影响指数	137

7.4.5	生产过程的综合复杂性评价	137
7.5	结构件生产过程综合复杂性案例分析	138
7.5.1	拼焊作业难度评价	138
7.5.2	拼焊作业复杂度评价	141
7.5.3	拼焊作业的综合复杂性评价	144
7.6	本章小结	144
第 8 章	生产现场全要素综合改善案例	145
8.1	案例背景介绍	145
8.2	解决问题的思路	146
8.3	现场布局改善	146
8.3.1	现场布局改善的原则与目的	146
8.3.2	现场宏观布局的改善	147
8.3.3	中后桥总装产线物流的改善	153
8.4	考虑操作复杂性的装配线平衡问题	155
8.4.1	装配线各操作单元操作标准时间的制定	155
8.4.2	生产线平衡	157
8.4.3	基于时间效率的生产线平衡	157
8.4.4	基于复杂性的生产线平衡	158
8.5	生产现场全要素改善	170
8.5.1	关于“人体运用”的改善	171
8.5.2	关于“工具设备”的改善	176
8.5.3	关于“工作地布置”的改善	177
8.6	基于信息加工经济原则的改善	179
8.6.1	关于法——标准作业要领书的改善	180
8.6.2	关于“环境与安全信息系统”的改善	182
8.6.3	关于“测量方法与工具”的改善	183
8.7	本章小结	184
第 9 章	展望	185
9.1	分布式认知	185
9.2	基于 TRIZ 的信息流分析	192
9.2.1	流的概念	192
9.2.2	不足流	195
9.2.3	过度流(信息冗余)	197
9.2.4	有害流	197
9.2.5	流进化趋势与反趋势	198

9.2.6	流分析的益处	199
9.2.7	流功能模型构建方法	199
9.2.8	流进化法则及流进化路径	200
9.3	价值创造的可视化方法	202
9.3.1	价值流程图	202
9.3.2	桑基图	203
9.3.3	意大利面图	204
9.3.4	增值热图	205
9.4	信息流增值情况的案例分析	205
9.5	信息流建模工具的选择	207
9.5.1	常用信息流建模工具简介	207
9.5.2	分层级信息流建模工具选择框架	210
9.6	本章小结	212
参考文献		213
后记		223

清华大学出版社

1.1 背景和意义

从 20 世纪 90 年代初开始,精益生产的方法和原则已经成为创建高效流程的主要概念,工作研究作为精益改进的基本工具一直是成功的,因为它专注于增值任务,旨在降低操作工人的体力负荷,提升劳动生产率。然而,在工业 4.0 时代,随着科技进步,生产过程自动化与信息化程度大幅提升,信息时代的工作流程和工具增加了工人的认知负担,工人的表现受到过高信息量和认知负荷的影响,因此,在制造领域有关工作信息和认知负荷已对生产效率与效益产生显著影响。但是,作为精益生产现场改善的主要工具,传统的工作研究方法并未提供解决这一问题的途径。目前的工作研究方法仍然是基于泰勒时代的概念,即减少体力负荷和提高劳动效率,忽视了对影响生产效率的认知负荷问题的研究。体力负荷可视为重力场的作用,那么认知负荷是否也可视为“场”的作用呢?为了回答这一问题,作者基于传统工作研究的特点提出了考虑认知负荷的工作研究 2.0 的初步框架,对任务复杂性和现场改善中的信息负荷问题进行了深入研究,但是有关信息场、信息流以及隐藏其中的复杂性问题尚不清楚,而这些问题是完善工作研究 2.0 理论体系的关键,为此作者提出对制造系统中信息场与信息引擎的功能和机理进行研究,期望阐明在信息场框架下对制造系统进行改善和优化所应遵循的信息原则。

“信息场”虽然不是一个新的概念,但是,结合制造系统应用情境,通过以多学科交叉为基础的重新定义,以及在制造系统设计与改善中的应用,“信息场”的概念为今后我们对智能制造系统设计中信息环境的了解和研究提供了可以遵循的框架,并为考虑认知负荷的工作研究 2.0 理论体系的完善提供了素材。因此,本书的研究对塑造 5G 时代制造业车间未来的工作空间提供理论支撑,对丰富工业工程学科理论体系,拓展精益生产方法使其适应工业 4.0 时代制造业发展的需要具有重要的理论和现实意义。

1.2 国内外研究现状及发展动态分析

1. 制造系统中的信息场

进入信息时代,定制生产范式对生产系统及其工作人员提出了很高的要求。对于最终装配来说尤其如此,在这种装配中,变体数量最多。为了应对这种变化,操作员需要在正确的时间访问正确的信息,从而知道如何以及何时组装什么零件。正确的信息包括信息的内容、信息的载体、信息显示方式以及接收者。Hoedt(2017)等研究指出,多数情景下,装配任务仍然由人类参与完成,而且在大多数情况下完全依赖于装配工人自己的经验。由于多品种小批量生产模式下的装配任务的相似性降低,工作内容和相应信息需求频繁更改,难以建立标准的工作程序,从而给操作员带来过多的认知负荷。Carvalho(2020)等系统地总结了制造环境下认知负荷过载的原因,这些原因主要有中断、培训/教学场景、手工装配、维护活动、订单拣选和目视检查等。通过确定导致认知超负荷的原因,进而明确了可以使用哪些技术来减少这种负荷过载。Biondi(2020)等在装配实验中,通过附加 n-back 任务以改变认知负荷水平,进而考察认知负荷对生产绩效的影响,研究结果表明认知负荷的增加会影响组装任务的完成时间。

Fässberg(2012)和 Berglund(2013)等以多品种装配制造为背景,使用定量方法描述了装配复杂性、质量和认知自动化之间的关系。他们的研究表明,认知自动化可以减少选择复杂性对产品质量的负面影响。Sheridan(2005)提出了涉及决策和操作的自动化水平(level of automation, LoA)的概念。但是,自动化还应该包括信息收集和分析。因此,Parasuraman(2008)建议将自动化等级(LoA)概念扩展到四个信息处理阶段:信息获取、信息分析、决策和操作,每个阶段都有自己的自动化等级(LoA)。Frohm(2008)将物理任务定义为机械活动的自动化水平,简称机械 LoA,而将认知任务的自动化水平称为信息自动化水平 LoA,简称信息 LoA。在装配环境中,认知自动化可以支持决策,确保生产出没有质量问题的产品。Blsing(2020)等提出了复杂装配系统中认知负荷的减少方法。他们认为不确定性与认知负荷大小相关,不确定性可能是系统组件之间缺乏交互关系以及依赖时间的决策和操作信息造成的。不确定性是复杂性定义涉及的两个维度之一,可以通过减小生产过程中的不确定性来减小认知负荷。

Philipp(2017)等认为,装配过程,特别是人机合作过程存在复杂性,复杂性增加了认知负荷,而这些复杂性是由信息不足引起的。因此,使用数字辅助系统提升认知自动化水平可以降低相应的复杂度和认知负荷。

现有研究为降低制造系统中工人的认知负荷提供了重要参考,但却缺乏对制造系统中认知负荷进行统一定量化描述与评价的方法。认知负荷的定量化描述对生产任务分配、质量预测、人员能力测评等方面具有重要的理论和现实意义。

本书尝试借鉴信息论的相关理论,对认知负荷进行描述。香农从价值论的角度认为信息是一种用以消除随机不确定性的东西(《通讯的数学理论》),哲学界从本体论的角度认为信息是物质属性的表征。有学者认为信息的物理本质是“场”,而不是“实物粒子”,其哲学本性不是物质固有的反应物性和表现形式,是事物普遍联系的“媒介”。唯物辩证法认为:事物是不断运动变化且普遍联系的,从实质上讲,联系指力的相互作用或力。物理学的研究表明,自然界的力可归结为四类:引力、电磁力、强力和弱力。同时力的相互作用是以场为媒介来传递的,即引力场、电磁场、强场和弱场。与此类同,信息的传递与交换不是实物粒子的交换,而是信息流的传递与交换。信息的物理本质是“场”,信息场的基元是信息子,信息子不断运动或传递信息流,信息流的集合便是某一具体事物的信息。

从现有研究看,“信息场”属于交叉学科研究范畴,在不同学科背景下被赋予不同含义。俄罗斯 Tsvetkov 从信息论的角度出发,提出“信息场”(information field)的概念,认为任何物质都会作为信源不停地向周围环境发送它所特有的信息,并环境中其他物质发送的信息相互作用,形成一定的信息空间分布。在此基础上,一些学者对信息场的数学结构和性能开展研究。Shaytura(2018)在研究信息分享行为时,提出“信息场”的概念,以描述人们在社会场合分享日常信息所创建的社会环境。而后一些学者将信息场相关概念和结构应用到知识转移、情报分析、教学设计、行为预测等方面。张凯(2002,2003,2004)类比电磁场特征定义了以信息传递为特征的信息场,认为信息场由信息点组成,每个信息点带有一定信息量,信息点之间的信息交换与信息点间距离成反比,与信息量成正比。现有研究为理解和分析信息场提供了一些思路,但仅能描述信息传递特征,未从本质上去刻画信息场,包括“场”的负荷作用特征。

为弥补这一不足,本书作者提出根据制造系统的特性,探索信息场的场作用机制,本书作者类比物理场的负荷作用特性,构建制造系统中的信息场的数学模型,旨在使用“场”的概念描述制造系统中的认知负荷,并探讨信息场在制造系统规划设计与改善中的应用。

2. 制造系统中的信息流

在制造业中,信息流被视为工艺和产品开发的重要组成部分。信息流使用数据和文档来描述生产与控制过程之间的通信,内部通信不足和信息传递不足以被认为是无附加价值的浪费。为了创造更高的价值,必须对信息传递进行识别和分类。通用方法不适用于可视化信息媒体中断并导致附加值降低。此外,媒体中断通常会导致冗余和额外的工作,这反映在非增值活动中(Sharma,2021; Mbakop,2021)。车间中的信息在不同的媒体、不同的角色(装配工人、生产负责人、技术人员、维护人员等)以及不同的时间范围内的不同位置之间流动。许多信息被共享、存储和检索,正确的信息在正确的时间、正确的人手中达到正确的目标至关重要。信息显示的位置、对象、时间以及显示的方式具有不同的含义。信息是生产部门的

关键组成部分,没有它,就不可能生产出所需的产品。Hutchins(1995)通过对船只驾驶团队的研究提出了分布式认知理论,用于研究信息如何在系统中流动和转换。信息流是分布式认知所关注的三大领域之一,另外两个分别是物理布局和人工制品。关于物理布局和人工制品的研究主要集中在急救室(Furniss, 2006)、救援中心以及中控室的布局(Luciana, 2021),很少有关于制造系统布局与信息关系的报道。

信息流的效率受到数据冗余和不确定性的影响。数据不确定性是指由于现存数据的问题,不知晓或不完全知晓某件事(Durugbo, 2010)。人为因素、仪器的限制性或数据收集过程中的缺陷而造成的测量误差会导致数据的不确定性(Sonmez, 2017)。信息的质量可以表示信息现状与期望之间的偏差,并主要受三个维度的影响:粒度、频率和准确性(Busert, 2021)。其中,准确性受数据不确定性的影响。Kurilova(2015)探究了物流和信息流中不确定性产生的原因,概括起来主要有:①特殊和标准备件的质量、数量、时间;②沟通不良,备件状态信息不足;③产品生命周期参与者和再制造商之间没有前馈信息;④与不同操作人员的工序时间相关的每个工序步骤的延迟,以及正确备件的约定交付时间的偏差等。

制造系统中的信息流主要被用于实现最小化的资源输入和最大化价值输出,它与物流过程是伴生的,并通过面对面互动来进行沟通。制造系统中信息的流动方式还决定了产品的生产方式、物流配送方式以及现场的管理方式,因此,在制造系统中,对信息流进行分析需要有效的信息流价值表征技术。因为只有对其进行有效的表征,才能对其进行有效的改善和可视化管理。目前文献中介绍的信息流价值表征的方法主要有:信息价值流图(Meudt, 2017)、增值热图和信息引擎(Sundresh, 1997)。

信息引擎主要有两个研究方向,一个研究方向是以美国贝尔实验室 Sundresh (1997)和 Durugbo(2009, 2010)为主要代表,将信息引擎作为信息流的建模工具,致力于将数据转化为逻辑功,又称信息动力引擎(info-dynamic engine)。另一个则是探究如何利用信息产生机械能,如麦克斯韦妖、布朗信息引擎、兰道尔擦除定律和西拉德引擎(Paneru, 2018)。本书侧重于第一个,即信息动力学引擎的研究,以下简称信息引擎。

信息引擎模型表示了如何将原始数据转换为目标程序可以有效使用的信息过程,就像热力学引擎将热能转化为机械能一样,主要涉及能量转换以及转换效率的问题(Sundresh, 1997, 2016)。信息引擎模型是信息流价值的表征方法之一。美国贝尔实验室的研究人员主要讨论了信息引擎对卡诺循环的模拟,卡诺循环也是热机效率最高的循环,它包括两个等温与两个绝热(等熵),我们的问题是:既然这一循环可以模拟信息流的运作机理,那么物理上其他三个循环——奥托循环(两个绝热,两个等容)、狄塞尔循环(两个绝热,一个等容,一个等压)、布莱顿循环(两个绝热,两个等压)是否也可以模拟信息流的运作机理呢?如果可以,在什么条件下可

以模拟什么样的生产场景,以及这些模拟为现场管理带来的启示是什么?这些问题有待感兴趣的读者进一步开展研究。

1.3 任务复杂性和认知负荷的测度

前已述及,无论是制造系统的信息场还是信息流都与制造系统各类要素的不确定性和工作任务的复杂性相关,它们是导致认知负荷和信息流价值不高的主要因素,这里我们将不确定性与复杂性不加区分统一称为复杂性,而复杂性与认知负荷的测度是信息场与信息流价值表征的核心问题,下面简要介绍复杂性和认知负荷测度的国内外研究现状。

1.3.1 任务复杂性测度

1. 基于结构主义视角的测度

基于结构主义视角,主要是确立任务客观复杂性测度指标,构建任务客观复杂性评价模型。Liu(2012)通过对文献总结和归纳,提出了任务复杂性结构模型,该模型给出了测度任务复杂性的九个维度,即尺寸、多样性、不确定性、变化、关系、不可靠性、不协调性、行为复杂性及时间需求。Zaeh(2009)从时间维度、认知维度和知识维度三个方面测度任务复杂性。Wood(1986)从系统组成要素复杂性、协调复杂性及动态复杂性三个维度构建任务复杂性测度模型,该模型在客观复杂性的评价中应用最为广泛。Bonner(1994)从系统输入、过程处理及输出三个层次描述任务复杂性,且每一个层次都包含信息量和信息清晰度两个维度。Harvey(2000)从任务范围、任务结构和任务不确定性三个维度提出了一个团队任务复杂性模型。Ham(2011)建立了一个任务复杂性模型,该模型包括功能、行为及结构三个维度。也有学者在测度任务客观复杂性的基础上,进一步分析其对生产绩效及工人负荷的影响。柯青(2016)从用户认知努力和生理努力的角度修正测量任务客观复杂性的指标,并深入探讨任务客观复杂性对用户认知和导航行为的影响。秦华(2014)等人则通过对比试验和虚拟仿真的方法,分析了任务复杂性和培训模式对塔式起重机驾驶员操作绩效的影响。张智君(2010)等通过设计实验考察在低生理负荷的情境下,任务难度和时间压力对肌肉活动的影响,实验结果表明任务难度和时间压力对于肩部斜方肌活动有重要的影响。

2. 基于资源需求视角的测度

作者主要从资源需求的视角对认知复杂性进行了测度。作者依据人的认知过程及制造过程的产品信息、工艺信息、工装信息和场地信息所涉及的信息量进行统计,并根据第二代人因可靠性方法测度装配活动中认知活动的数量,运用信息熵计算工人的认知复杂性(孔繁森,2017,2021)。

3. 基于交互作用视角的测度

学者们一般从任务执行者的立场出发,研究其主观复杂性。研究表明:工人的个人能力、训练水平、知识及个性特征等因素对任务执行者的感知复杂性具有重要的影响(Samy,2010; Falck,2014; Zhu,2008)。Mattsson(2013)等基于工效学、任务、工作指令、个性特征、工具等多个维度设计感知复杂性调查问卷,并运用李克特量表,量化操作者的主观复杂性,给出了操作者感知复杂性的通用测度方法。该测度方法考虑了生产系统中的人、机、料、法四个维度,对于制造系统具有普适性。

通过文献研究,作者发现:①基于结构主义视角的任务客观复杂性方面的研究较多,信息加工层面的任务主观复杂性研究相对较少;②任务复杂性的理论模型研究较多,针对不同情境的适应性验证却较少。

1.3.2 认知负荷的测量

概括起来,测量认知负荷的方法可分为四类:主观直接、主观间接、客观直接和客观间接(Brunken,2003)。

主观间接方法:主要有事后自我报告认知负荷(Kaiser,2016)和 NASA 的任务负荷指数(NASA-TLX)(Hart,1988)两种方法。

主观直接方法(Brunken,2003):主要有自我报告压力法。该法在任务执行过程中需特定的频率和多个时间间隔,因此容易分散注意力。此外,相同的时间和频率可能无法用于具有不同要求和(或)复杂性的任务。测量认知负荷的主观直接和间接方法的主要缺点是不能考虑被试认知负荷的快速变化。

客观直接测量法(Peitek,2018):主要有脑信号和双重任务表现法。脑信号法是通过 EEG 或 fMRI 装置客观地测量认知负荷,但现成的 EEG 帽子在长时间的交互作用下可能会使用户感到不适,而 fMRI 装置会限制运动和与学习技术的交互作用。双重任务表现法要求参与者在主要任务外解决复杂性增加的其他任务,认知负荷是通过次要任务的表现来衡量的(关于多任务处理对人类绩效影响的实验研究表明,在手头任务上添加次要任务会增加整体认知负荷,同时损害主要任务和次要任务的性能)。然而,有关高认知工作量对制造过程中的任务表现和肌肉活动的影响知之甚少。

客观间接测量法(Backs,1992):也称生理学法,主要有平均瞳孔直径、瞳孔直径标准差、扫视速度和大于 500ms 的注视次数等评价指标。例如利用瞳孔数据测量驾驶员认知负荷的波动水平;发现皮肤电反应(GSR)可以展示恰当的认知负荷水平的变化。总体而言,任务激发的瞳孔反应是对认知负荷的可靠而敏感的测量。眼动追踪是认知负荷测量最常用的生理指标(客观间接指标)之一。例如,Backs 和 Walrath(1992)使用一个人的注视次数、注视持续时间平均值和注视率(注视/秒)来衡量认知负荷。Backs(2000)等使用瞳孔直径、眼跳运动和眨眼率来衡量认

知负荷。William(2020)等研究了使用瞳孔直径计算认知负荷的方法,并研究了瞳孔反应与认知负荷之间的关系。Buettner(2013)等提出计算认知负荷的四种衡量指标,即平均瞳孔直径、瞳孔直径标准差、扫视速度和大于 500ms 的注视次数,并证明这是对同一目标可靠且准确的客观间接测量。Lv(2019)等针对虚拟现实互动系统中如何客观获取用户认知负荷阈值的问题,提出了一种基于眼动实验的用户认知负荷量化方法,并使用眼动仪在虚拟现实交互过程中收集眼动数据,建立了基于概率神经网络的认知负荷评估模型,并使用眼动和主观认知负荷数据对模型进行了验证。

本书作者对复杂度和信息问题的文献研究表明:信息量、复杂性和认知负荷是层层递进的关系,信息量与复杂性可以通过测度“熵”联系起来,而复杂性具有某种心理感受的成分,信息量和复杂性是问题的外在表现,消耗能量的确是认知负荷(Kong,2019,2022)。但是很少有文献将信息场、信息流、认知负荷与复杂性建立联系,本书拟在前人研究基础上,尝试将信息场、信息流、复杂性和认知负荷联系起来建立更加综合有效的与信息相关的测量方法。显然,测量也是本书理论研究实现其应用价值——降低认知负荷和任务复杂性,实现高效率生产的桥梁和关键。

1.4 本章小结

本章主要叙述了本书研究的背景和意义。对制造系统中的信息场、信息流以及认知负荷等研究主题的国内外现状进行了综述。文献研究表明:本书的研究对塑造 5G 时代制造业车间未来的工作空间提供理论支撑,对丰富工业工程学科理论体系,拓展精益生产方法使其适应工业 4.0 时代制造业发展的需要具有重要的理论和现实意义。

工作研究2.0理论框架

2.1 理论背景

工业革命彻底改变了世界。这种变化越来越多地涉及工作的机械化和自动化,从而又要求业务管理的变化。Taylor 是第一个认识到工作研究重要性的人。根据 Taylor 的研究,为了有效地完成工作,必须精确地找到相关的任务,确定最有效的方式来完成它们,并给自己必要的时间。在这方面,Taylor 认识到优化工作方法的重要性和时间研究的必要性。

与 Taylor 相似,Gilbreth 系统地研究了工作。Gilbreth 和 Lillian 博士于 1916 年发表了《疲劳研究》,并于 1917 年发表了《应用运动研究》。在这一点上,他们的方法与 Taylor 的不同。Gilbreth 和 Lillian 关注的是最佳实践和工作计划设计,而不是绩效。他们提出了一种理论:所有人类动作可以归纳为 17 种基本的动作元素。他们的理论为 MTM 的研究提供了理论依据。为了获得最佳的工作方法,在执行力、生产率和绩效方面,Gilbreth 和 Lillian 消除了每一个妨碍工作的动素(therblig)。

1926 年,Segur 发表了他的作品《运动时间分析》(*Motion Time Analysis*),他开发了第一个预定时间系统(PTS)。20 世纪 30 年代,这一系统被用于美国大多数行业,随后出现了一系列更先进的 PTS,如 Joseph H. Quick 在 1934 年建立的运动时间调查和工作因子法。1940 年,Maynard 研究了钻机的复杂工作过程,与 L. John, Schwab 和 Gustave J. Teggemerten 一起设计了一个系统,该系统成为全球最成功的优化工作流程的过程:方法-时间度量。

Maynard、Schwab 和 Teggemerten 致力于开发支持 MTM 基本方法的数据。在接下来的几年里,这些数据被评估、修订和彻底测试。这项研究结果发表在 1948 年的《工厂管理与维护》杂志上。同年,出版了《方法-时间测量》一书,概述了 MTM 方法的基础知识。1966 年,Heyde 在 MTM 的基础上,开发了模块化预定时间标准(MODAPTS),这是 PTS 技术中集成时间和动作的最简洁的方法。这种工业工程(IE)方法被广泛应用于工厂改善。

Maynard 等一直在研究 MTM 方法。虽然对原始 MTM 标准时间值进行了细

化和扩展,但后续的研究除了对这些值进行了小的修改外,并没有增加任何新的内容,到目前为止没有变化。然而,MTM 的使用为生产力评估提供了一个有效的基础,它考虑了人的能力,并为识别手工过程中的缺陷提供了支持。

随着第四次工业革命的临近,信息化和自动化水平的提高,企业的工作领域也在改变。目前学术界主要从以下三个方面来描述这些变化。

1) 认知自动化

从自动化的角度来描述这些变化。正如 Becker(2016)所述,未来生产工作空间的两个主要变化可以总结如下。第一,人类在未来的工厂中工作是绝对必要的。由于自动化,制造业的工作岗位将会减少;然而,新的工作岗位将围绕机器创造。第二,新的任务将更加复杂。伴随产品和制造过程的日益复杂,以及与计算自动化设备交互的需要,人类的工作任务将更加复杂。虽然自动化减轻了工人的体力负担,但它也增加了系统的复杂性,因为自动化系统与当前的产品、流程、信息、资源、人工任务和组织高度集成。自动化可使机器完成操作员的任务,然而,同时它也增加了系统的复杂性,这些系统必须被管理、维护、重新设计等(Gullander,2011)。

Sheridan(2005)提出了涉及决策和操作的自动化水平(LoA)的概念。但是,自动化还包括信息收集和分析。因此,Parasuraman(2008)建议将自动化水平概念扩展到四个信息处理阶段:(a)信息获取,(b)信息分析,(c)决策和(d)操作,每个阶段都有自己的自动化等级。

Fässberg(2011)等利用自动化认知水平(LoA)描述了上述变化,他认为这可以改善操作人员的工作环境,减少他们的工作量。本书使用的 LoA 的定义由 Frohm(2008)提出,即“在人类和技术之间分配体力和认知任务可描述为从完全手动到完全自动的连续统一体”。机械活动的自动化水平称为机械性自动化水平,简称机械(LoA),而认知活动的自动化水平称为认知自动化水平,简称认知(LoA)。进一步可以解释为:机械式自动化水平描述了用什么去组装,认知自动化水平描述了低层次上的如何组装(LoA1-LoA3)和高层次上的情境控制(LoA4-LoA7)。大规模定制的生产范例对生产系统及其工作人员提出了很高的要求。对于最终装配来说尤其如此,在这种装配中,变体数量最多。为了处理这种变化,操作员需要在正确的时间访问正确的信息。操作员想知道如何以及何时组装什么零件。正确的信息包括信息量(信息的内容),信息的显示方式(信息的载体)以及接收者(特定操作者)。对于这种范式中的公司而言,认知自动化的策略将变得越来越重要。

2) 操作员(1.0-5.0)与各种操作辅助系统的应用

从经营者的角度来描述企业的变化。随着技术的发展和时间的推移,生产中人与机器的关系也发生了变化。Gorecky(2014),Romero(2015,2016)等从技术辅助的角度描述了这些变化,具体描述如下。

定义使用机械工具手动操作机床的操作人员为操作员 1.0;那些有计算机支

持的为操作员 2.0; 在机器人或其他设备的协助下协同工作的为操作人员 3.0; 那些代表“未来的操作员”或技能和熟练的操作员, 在需要的时候, 由机器辅助执行工作, 为操作员 4.0。Zolotová(2020)等根据技能提升的类型将操作员 4.0 分为八种类型, 并通过案例研究展示了操作员 4.0 概念在实验室环境中的可行性。“操作员 5.0”被定义为一个具有创造力、独创性、创新性的聪明和技能熟练的工人, 在面对困难和(或)意想不到的情景时, 能够恰当地利用各种信息和技术, 克服各种障碍, 开发一种维持长期可持续性的生产制造和劳动力福利的解决方案(Romero, 2021)。

3) 工业 4.0 技术与认知制造

工业 4.0 是建立在物联网的基础上, 结合分析技术和认知技术, 从而推动了其在生产环境的可靠性、质量和效率方面关键生产力的改进。认知制造(CM)是指利用认知计算、工业物联网和高级分析来以以前无法想象的方式升级的制造过程。它使公司能够改善主要业务指标, 例如生产力、产品可靠性、质量和安全性, 同时减少停机时间并降低成本。Carvalho(2020)等研究了工业 4.0 技术条件下制造环境中有哪些因素(如中断、指导情景、手工装配及维修活动等)导致了认知过载, 使用哪些因素可以减小认知负荷(如数字化操作指导书, 数字化培训应用, 分析和增强现实以及质量检测等)。Frédéric(2020)等研究了工业 4.0 技术方法与精益管理方法的原则和工具之间的联系, 特别关注一些工业 4.0 技术对实施精益原则的改进效果。认知系统适合于自动执行常规决策, 并且通过创建可帮助人类决策者管理异常或其他异常和复杂业务决策的重要经验来支持工业 4.0。在大数据时代之前, 使用认知技术是不现实的, 因为其系统需要数据进行分析。当前对于大多数制造商而言, 拥有足够的信息不再是问题。认知系统可以理解大量因素, 这些因素可以揭示问题的根本原因或指出更有效的行动方案。

综上, 作者根据文献对工业革命以来主要技术的演化历程进行了概述, 如图 2-1 所示, 工业 5.0 和操作员 5.0 是人们对未来技术发展的预期, 工作研究 2.0 将在未来技术发展中发挥作用。

近年来, 在制造业中, 对人类绩效的认知方面的兴趣已大大增加, 这是对人體工学的补充, 也为工业领域提供了重要的知识和贡献。但是文献所述方法视角各不相同, 如前述各国学者大多从认知自动化角度或从对操作人员的支撑方式变革的角度探讨认知负荷问题, 两者都是基于技术变革来探讨日趋严重的现场任务的认知负荷与复杂性问题。

本书作者试图从工作研究的角度来描述这些变化。传统的工作研究是基于泰勒的研究, 即减少体力负荷, 提高劳动效率; 进一步研究了操作时间与方法的关系。随着自动化和信息技术的发展, 我们认为工人所承担的体力负荷在逐渐减少, 而信息负荷在不断增加。然而, 目前的工作研究方法忽视了对信息不足或冗余、信息负载、压力大等影响生产效率的信息问题的研究。

MTM 视觉检测(1990 年发展起来)是规划、设计和评估视觉检测活动所需时

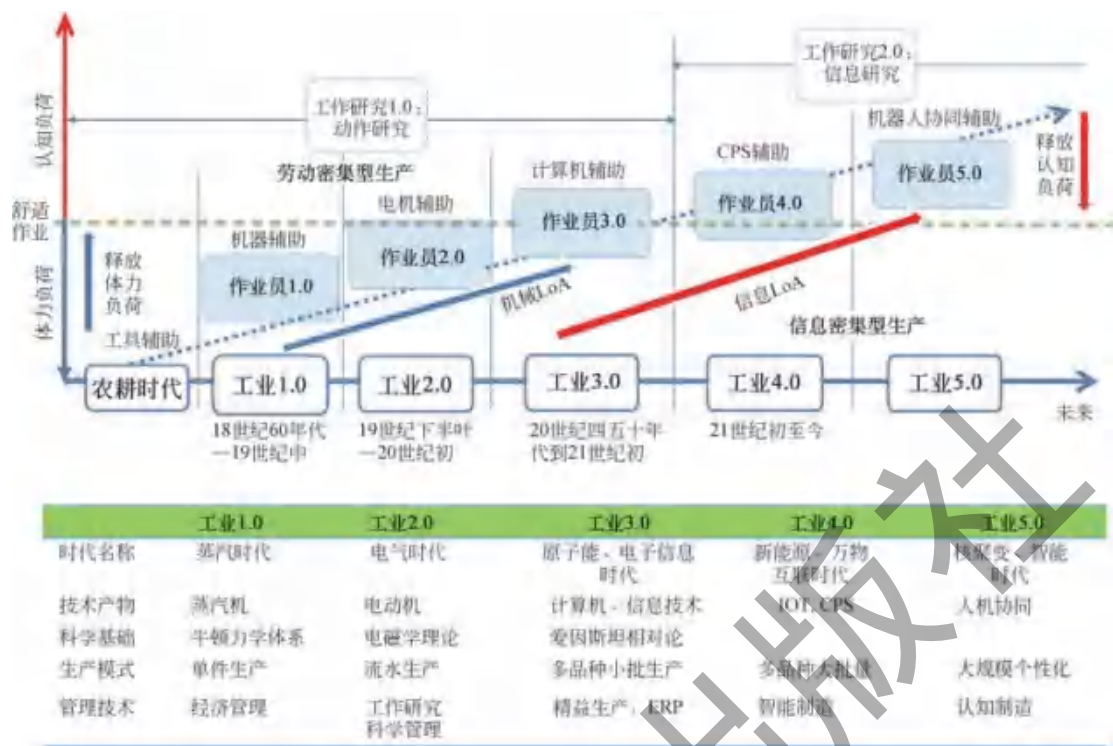


图 2-1 工业技术演化过程中人在完成任务时所承担负荷的变化

间的基本方法,视觉检测活动依赖于人的判断和决策。然而,这些活动所需的时间是高度复杂心理过程的结果。因此,通常的时间计算技术无法对它们进行可靠的分析。它们仍然需要操作人员的视力和时间。此外,它们既没有考虑到现代信息和通信技术的需要,也没有充分考虑到操作员的特点或工作能力。

Fässberg(2011)和 Fast Berglund(2013,2014)认为,作为精益车间改进的主要工具,传统的工作研究不能解决这个问题。相比之下,自动化程度的提高和与制造过程相关的严格质量限制使得操作人员的工作变得越来越困难。随着网络和信息技术的飞速发展,员工的信息负荷不断增加。为了使工人更有效地完成给定的现场任务,并确保操作人员的有效性和效率,应该在正确的时间向正确的人提供正确的信息。

关于制造过程中的信息和复杂性,如 Claey(2015)等所述,一些制造企业面临着车间信息显示不切实际且效率低下的问题。复杂性的概念涉及两个维度:不确定性和时间。

不确定性可能是缺乏信息和(或)系统组件之间的交互性质以及与时间相关的决策和操作造成的。在装配环境中,认知自动化可以支持决策,以确保生产出无错误的产品。装配任务仍然由人类完成,并且在很大程度上完全依赖于他们自己的经验。混合模型结构带来的产品和操作的复杂性,对操作人员施加的心理负荷通常非常高。因此,错误的概率很高,并且可能发生延迟。Romero(2015)和 Hold(2017)认为,装配和人机合作过程具有复杂性,这是由信息不足引起的,并增加了

认知负荷。而数字辅助系统可以提供信息支持,降低相应的复杂性和认知负荷。

一些研究人员意识到信息时代制造业运营商面临的信息和复杂性问题,因此提出了解决方案。例如,Abonyi(2003)提出了一个针对多产品流程的模块化操作员支持系统。Tan(2009)建立了一个装配信息开发框架,从任务建模到支持单元生产中的人机协作。Hold(2017)指出,数字信息可以通过创建工作系统来帮助人类工作,该工作系统通过人类适应不断变化的产品和不稳定的需求而保持灵活性,同时还可以利用其潜在在未来的生产场景中实现成本效益。Fast Berglund(2014)指出,认知自动化战略对公司来说将变得越来越重要。Stork(2010)认为,工人拥有各种信息来源,必须在手动装配任务期间在不同任务之间快速切换。通过适当的信息表示和工作步骤规划,可以降低任务执行的复杂性。首先,请注意,引导可以支持工作的信息处理,同时减少搜索时间并加快工艺过程的执行。其次,由于一个产品存在多个可能的装配顺序,因此应确定单个装配步骤的最佳顺序,并将先前任务步骤的干扰降至最低。解决上述所有问题的办法是提供各种支持系统。

虽然文献提倡使用各种数字支持系统来解决上述问题,但我们认为,即使使用数字支持系统,也应该基于对信息场的深入分析,且车间内信息的流动和信息的来源与位置应该是有效的,否则会增加额外的任务复杂性和信息负载。因此,我们在传统工作研究的基础上,探讨了信息研究和复杂性度量,从信息研究和复杂性度量的角度提出了提高制造系统产出的方法和基本原则,阐述了车间信息系统的正确配置,从信源/宿、信息表达到信息场的最优配置,可以解决复杂问题,降低工人所承受的信息负荷(第一,信息不足,这需要更多的时间来处理任务;第二,信息太多,需要更多的时间来提取有效的信息)。提高劳动生产率和产品合格率是关键。并将新的工作研究方法定义为“工作研究 2.0”,本书的研究扩展了原有工作研究方法的内涵,以满足信息时代生产力持续发展的需要。

2.2 考虑信息负荷的工作研究 2.0 理论框架

生产系统涉及材料、资源和信息流,如图 2-2 所示。它们包括不同的加工、测试和储存设备,需要人工干预。在这些系统中,输入的是各种原材料,输出的是成品。与物理连接的机器系统不同,生产工艺设备通过信息流连接。例如,原材料沿工艺方向的移动通过看板系统(Sugimori,1977)的驱动进行连接,看板系统在工艺之间传递信息,并在零件用完时自动订购零件。流经生产线的每一件物品或每一盒物品都有自己的看板。看板显示器可以播放各种信息,从库存水平到生产量。看板以最简单的形式显示进货货物、生产中的货物和出货货物。此外,系统还配备了包括操作指导、环境和安全信息在内的信息。上述系统要素是生产系统的基本要求,生产系统的组成部分由生产系统和与生产系统相互作用或共存的超级系统共同确定,如空气(具有湿度和温度特性)和照明子系统。生产系统的实际产品质