

工业工程概述

A Brief Introduction to Industrial Engineering

未央-机械01 金佳熠

Jiayi Jin, Weiyang College

2020年12月

目录

1	工业工程的内涵	1
1.1	工业工程的定义	1
1.2	工业工程的子学科	1
1.3	工业工程师	2
1.3.1	工业工程师需要具备的专业知识	2
1.3.2	工业工程师做什么	3
2	工业工程的主要发展历程	5
2.1	工业工程的起源	5
2.1.1	劳动分工	5
2.1.2	可互换零件	5
2.2	工业工程的先驱	6
3	工业工程领域的发展面临的问题与挑战	8

1 工业工程的内涵

1.1 工业工程的定义

工业工程是一个通过开发、改进和实施由人员、金钱、知识、信息、设备，能源和物料组成的集成系统来优化复杂的流程、系统或组织的工程专业¹。

工业工程师使用数学、物理和社会科学等方面的专业知识和技能，以及工程分析和设计的方法原理，来指明、预测和评估从系统和过程中获得的结果。从这些结果中，他们能够建立新的系统，过程或情况，以有效地协调劳动力，物料和机器，并提高物理或社会系统的质量和效率[1]。根据涉及的二级专业，工业工程也可能与以下领域相交叉：运筹学，系统工程，制造工程，生产工程，供应链工程，管理科学，管理工程，金融工程，人机工程学或人因工程，安全工程，物流工程等，取决于用户的观点或目的。

1.2 工业工程的子学科

工业工程有许多子学科，下面列出了其中最常见的子学科[3]：

设施工程与能源管理、金融工程、能源工程、人为因素与安全工程、信息系统工程与管理、制造工程²、运营工程与管理³、运筹学与优化、政策规划、质量与可靠性工程、供应链管理⁴与物流⁴、系统分析、系统工程学、系统仿真。

¹Industrial engineering is an engineering profession that is concerned with the optimization of complex processes, systems, or organizations by developing, improving and implementing integrated systems of people, money, knowledge, information, equipment, energy and materials.[8]

²Manufacturing engineering is a branch of professional engineering that shares many common concepts and ideas with other fields of engineering.

³Operations engineering is a branch of engineering that is mainly concerned with the analysis and optimization of operational problems using scientific and mathematical methods. Operations management is an area of management concerned with designing and controlling the process of production and redesigning business operations in the production of goods or services.

⁴Supply-chain management has been defined as the "design, planning, execution, control, and monitoring of supply-chain activities with the objective of creating net value, building a competitive infrastructure, leveraging worldwide logistics, synchronizing supply with demand and measuring performance globally." Logistics is generally the detailed organization and implementation of a complex operation.

尽管有一些工业工程师只专注于这些子学科之一，但许多工业工程师将其中一些结合起来，比如供应链和物流以及设施和能源管理等。

1.3 工业工程师

1.3.1 工业工程师需要具备的专业知识

工业工程师需要具备的知识包括：

- **工程技术**—工程科学和技术的实际应用知识。这包括将原理，技术，程序和设备应用于各种商品和服务的设计与生产。
- **生产和加工**—了解原材料，生产过程，质量控制，成本以及其他使货物的有效生产和分配最大化的技术。
- **数学**—算术，代数，几何，微积分，统计及其应用。
- **机械**—机器和工具的知识，包括其设计，使用，维修和保养。
- **设计**—涉及生产精确计划，蓝图，图纸和模型的设计技术，工具和原理的知识。
- **计算机和电子**—电路板，处理器，芯片，电子设备以及计算机硬件和软件（包括应用程序和编程）的知识。
- **行政管理**—对业务和管理原则的知识，涉及战略规划，资源分配，人力资源建模，领导技巧，生产方法以及人员和资源的协调。
- **客户和个人服务**—了解提供客户和个人服务的原理和流程，包括客户需求评估，符合服务质量标准以及客户满意度评估。
- **物理**—物理原理，定律，它们之间的相互关系以及对理解流体，材料和大气动力学以及机械，电，原子和亚原子结构和过程的知识。
- **公共安全和保障**—了解相关设备，政策，程序和策略，以促进有效安全地保护人员，数据，财产和机构。

1.3.2 工业工程师做什么

工业工程师参与了生产和加工的所有阶段。他们可能从头开始设计新设施，或者可能负责升级、扩展、重新配置现有设施。他们可能需要设计新设备或为从外部供应商处购买的设备编写规格并确保其满足要求。他们可能还需要重新利用现有的设施和设备，设计新的流程以及设计新的工具和固定装置。

为了维持这些标准，工业工程师必须具备许多工程领域的基本工作知识，并且必须熟悉工作流程，设备，工具和物料，以便设计出符合成本，质量，安全和环保要求的设施、系统和设备。

此外，工业工程师依靠计算机辅助设计（CAD）系统来设计设施和设备。他们还使用计算机建模来模拟流程和供应链，以最大化效率并最小化成本[5]。

- 价值工程

价值工程基于以下命题：在任何复杂的产品中，80%的客户只需要产品中20%的功能。通过专注于产品开发，可以以较低的成本为市场的大部分主体生产优质的产品。当客户需要更多功能时，会将它们作为选项出售给他们。这种方法在以工程为主要产品成本的复杂的机电产品（例如计算机打印机）中很有价值。

为了减少项目的工程和设计成本，通常会将项目分解为子组件，这些子组件可以一次设计和开发，并可以在许多略有不同的产品中重复使用。例如，典型的磁带播放机具有由小型工厂生产，组装和测试的精密注塑成型的磁带座，并作为子组件出售给众多大公司。磁带座的工具和设计费用由许多看上去可能完全不同的产品分担。所有其他产品所需的只是必要的安装孔和电气接口。

- 质量控制和质量保证

质量控制是为确保不生产有缺陷的产品或服务以及设计符合性能要求而采取的一系列措施。质量保证涵盖了从设计，开发，生产，安装，服务和文档编制到生产的所有活动。该领域引入了“适合目的”和“第一次正确执行”的规则。

质量免费”是不言而喻的。通常，每次生产下线时，生产始终有效的产品就不再花费更多。尽管这需要在工程设计过程中额外付出努力，但可以大大减少浪费和返工的成本。

制造过程中的统计过程控制通常是通过随机抽样和测试一部分成品来进行的。由于时间或成本的限制，或者由于它可能破坏被测试的物体（例如照明火柴），通常避免测试每个成品，而是持续跟踪关键误差的变化，并在生产不良零件之前修正制造过程。

- 可生产性

通常，制成品具有不必要的精度，生产操作或零件。简单的重新设计可以消除这些问题，从而降低成本并提高可制造性，可靠性和利润。例如，俄罗斯的液体燃料火箭发动机经过精心设计后，允许有简陋的（尽管无泄漏）焊接，从而消除了不利于发动机更好运转的打磨和精加工操作。

- 从运动经济到人为因素

工业工程师研究工人如何工作，例如工人或操作员如何拾取要放置在电路板上的电子组件或将这些组件按顺序放置在板上。他们的目标是减少完成某项工作以及重新分配工作所花费的时间，以便用更少的工人完成给定的任务[4]。

2 工业工程的主要发展历程

工业工程诞生于19世纪晚期。制造、政府和公共服务组织在整个20世纪所面临的挑战和需求使得工业工程迅猛发展，成为一个充满活力的专业。工业工程的未来不仅取决于工业工程师应对并利用运营和组织的变革的能力，更取决于他们预测从而引领变革本身的能力。

20世纪上半叶，工业工程诞生的这一段历史为主导其实践和发展的许多原理提供了重要见解。尽管这些原理继续影响着这个专业，许多目前已经形成并将继续完善的概念性和技术性的发展源自20世纪下半叶[6]。

2.1 工业工程的起源

历史学家之间普遍认为，工业工程专业的起源可以追溯到工业革命。飞梭、珍妮纺纱机、蒸汽机等有助于推进纺织工业中的传统手动操作机械化的技术带来了规模经济，使得大规模集中生产首次具有吸引力。生产系统的概念正起源于这些创新的工厂。

2.1.1 劳动分工

亚当·斯密（Adam Smith）在其专著《国富论》中引入的劳动分工（Division of Labour）概念和资本主义的“看不见的手”（the “Invisible Hand” of capitalism）概念激发了许多工业革命的技术创新者建立和实施工厂体系。经过詹姆斯·瓦特（James Watt）和马修·布尔顿（Matthew Boulton）的努力，建立了世界上第一个集成的机器制造工厂，实施了诸如减少能耗、提高生产率的成本控制系统以及为工匠提供技能培训的概念[6]。

查尔斯·巴贝奇（Charles Babbage）在19世纪早期访问英格兰和美国的工厂后，在他的《论机械和制造商的经济》一书中引入了于工业工程密切相关的概念。这本书包括诸如完成某个任务所需的时间，将任务细分为较小和较不详细的子任务的效果以及从重复性任务中获得的好处等主题[2]。

2.1.2 可互换零件

Eli Whitney和Simeon North为美国政府证明了可互换零件（Interchangeable Parts）的概念在制造步枪和手枪中的可行性。在这个系统下，单个零件被批量

生产，这样就可以在任何成品中使用。这大大减少了对专业工人技能的需求，最终引发了之后对工业环境的研究[6]。

2.2 工业工程的先驱

弗雷德里克·泰勒（Frederick Taylor, 1856–1915）通常被认为是工业工程之父。他拥有史蒂文斯大学的机械工程学位，并获得了多项发明专利。他的著作《商店管理》和《科学管理之原则》于20世纪初出版，标志着工业工程的开始。他的方法是基于改进工作方法，制定工作标准以及减少执行工作所需的时间来提高工作效率。

普渡大学工业工程学院的夫妻团队弗兰克·吉尔布雷斯（Frank Gilbreth, 1868–1924）和莉莲·吉尔布雷斯（Lillian Gilbreth, 1878–1972）是工业工程运动的另一块基石。他们将人体运动的要素分为18种基本要素，称为基本动作要素（therbligs）⁵。这可以使分析人员可以在不知道完成工作所需时间的情况下设计工作。这些被认为是一个更广阔的领域——人因工程学的开始。

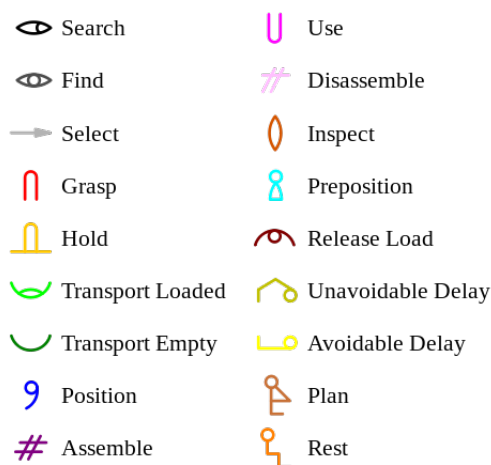


Fig. 1: The standard symbols used in representing the 18 therbligs

1908年，宾夕法尼亚州立大学提供了第一门工业工程课程作为选修课，在

⁵Therbligs are 18 kinds of elemental motions, used in the study of motion economy in the workplace. A workplace task is analyzed by recording each of the therblig units for a process, with the results used for optimization of manual labour by eliminating unneeded movements.

雨果·迪默（Hugo Diemer）的努力下，该课程于1909年成为独立计划。康奈尔大学于1933年开始授予工业工程博士学位。

1912年，亨利·劳伦斯·甘特（Henry Laurence Gantt）制定了甘特图⁶。该图表之后由Wallace Clark加以改进，成为我们今天熟悉的样式。

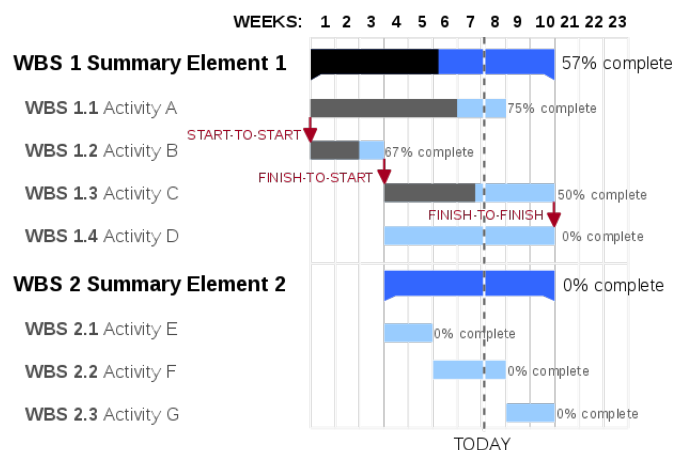


Fig. 2: A Gantt chart showing three kinds of schedule dependencies (in red) and percent complete indications

随着装配线的发展，亨利·福特（Henry Ford）的工厂在该领域取得了重大突破。福特将一辆汽车的组装时间从700多小时减少到1.5小时。此外，他还是资本主义福利经济（welfare capitalism）的先驱，率先为员工提供财务激励措施以提高生产率。

20世纪40年代开发综合质量管理体系（TQM）在第二次世界大战之后发展迅速，是战后日本复兴的一部分内容。

1948年，美国工业工程学会成立。随着人们的兴趣点从仅仅提高机器性能延伸到提高整个制造过程的性能，F. W. Taylor和Gilbreths把他们的早期工作记录在了提交给美国机械工程师学会的一篇论文中。论文从介绍Henry R. Towne（1844-1924）的论文《作为经济学家的工程师》（1186）开始[7]。

⁶A Gantt chart is a type of bar chart that illustrates a project schedule, named after its inventor, Henry Gantt (1861 – 1919), who designed such a chart around the years 1910 – 1915. Modern Gantt charts also show the dependency relationships between activities and the current schedule status.

3 工业工程领域的发展面临的问题与挑战

参考文献

- [1] L. and R. N, “The nature of industrial engineering,” *The Journal of Industrial Engineering*, vol. 5, 1954.
- [2] C. Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*. C. Knight, 1832.
- [3] W. Contributors, *Industrial engineering*, Wikipedia, Jun. 2019. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_engineering.
- [4] N. W. Encyclopedia, *Industrial engineering*, New World Encyclopedia. [Online]. Available: https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Industrial_engineering.
- [5] J. Lucas, *What is industrial engineering?*, livescience.com, Oct. 2014. [Online]. Available: <https://www.livescience.com/48250-industrial-engineering.html>.
- [6] H. B. Maynard and K. B. Zandin, *Maynard’s industrial engineering handbook*. McGraw-Hill, 2001.
- [7] A. S. of Mechanical Engineers and G. U. of Toronto, *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*. New York City : The Society, 1880. [Online]. Available: <https://archive.org/stream/transactionsof07amer#page/428/mode/2up>.
- [8] G. Salvendy, *Handbook of industrial engineering : technology and operations management*. John Wiley & Sons, 2001.