

精益制造与管理的理论基础

从科学原理出发,本章从经营原理和管理原理两个角度阐述精益制造与管理的基础理论。

1.1 经营原理

1.1.1 逻辑模型

企业是以营利为目的的法人或其他社会经济组织,始终在探究适合自身的盈利模式。从经济学角度讲,企业利润是指企业在一定时期内生产经营的财务成果,等于销售产品总收益与生产产品总成本之间的差额,即图 1-1 所示阴影部分面积。具体解释为,某企业在一段时间内生产一种产品, C 代表单位产品成本, P 代表单位产品价格, Q 代表产品销售数量,阴影部分面积 R 则为企业利润,企业的经营目标即追求阴影面积最大化。

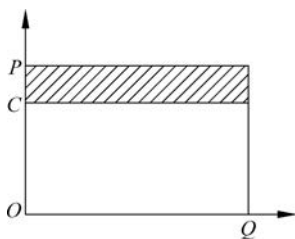


图 1-1 企业盈利模式示意图

1.1.2 基本原理

图 1-1 中阴影部分面积的数学表达式如式(1-1)所示

$$R = (P - C) \times Q \quad (1-1)$$

式(1-1)中企业利润 R 由产品价格 P 、产品成本 C 、销售数量 Q 三个要素共同决定,企业利润 R 最大化即追求 P 、 C 、 Q 三者的最佳组合,可通过下述四种途径实现:

方式 1,如图 1-2(a)所示,在产品成本 C 和销售数量 Q 不变的前提下,产品价格 P 增加至 P_1 ,企业利润与产品价格呈正相关,会随着产品价格的增加而增加。

增加量为 $\Delta R = (P_1 - P) \times Q$ 。

不过提高产品价格需要市场需求的允许,不是企业自己决定的。产品涨价是有条件的,比如稀缺市场需求、产品需求弹性小等,条件比较严苛。一般只能通过技术创新提高产品附加功能,或者生产市场需求大的新产品,才能实现。

方式 2,如图 1-2(b)所示,在产品成本 C 和产品价格 P 不变的前提下,销售数量 Q 增加至 Q_1 ,企业利润与销售数量呈正相关,会随着销售数量的增加而增加。

增加量为 $\Delta R = (P - C) \times (Q_1 - Q)$ 。

但是,扩大产量、扩大销量,需要企业多投入资金,增加设备、流动资金和人力,并且要求市场需求存在,生产的产品能卖出去才行。这个方式也不是企业可以自主决定的。企业只能通过管理创新提高效率。

方式 3,如图 1-2(c)所示,在产品价格 P 和销售数量 Q 不变的前提下,产品成本 C 降低至 C_1 ,企业利润与产品成本呈负相关,会随着产品成本的降低而增加。

增加量为 $\Delta R = (C - C_1) \times Q$ 。

这个方式是否可行取决于企业自身管理创新的能力,与环境、市场、竞争对手基本无关。

方式 4,如图 1-2(d)所示,综合考虑前三种方式,组合使用共同增加企业利润。

此时,利润的增加量表示为 $\Delta R = (P_1 - C_1) \times Q_1 - (P - C) \times Q$ 。

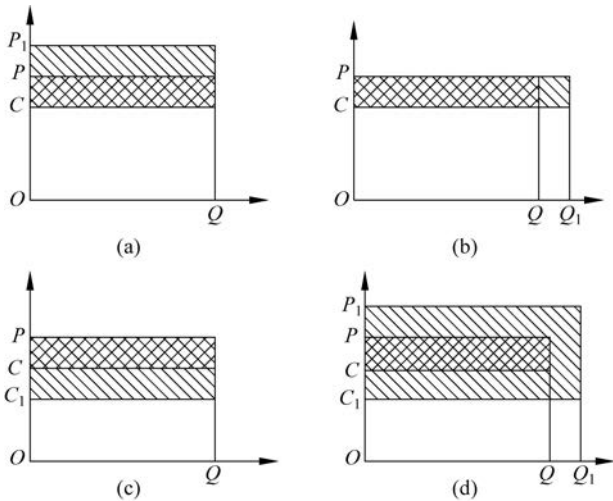


图 1-2 增加利润的四种方式

方式 4 显然是最好的,但是产品涨价,市场需求量足够大,生产效率提高,降低成本的措施有效,这么多条件同时满足的概率实在不高。

1.1.3 经营方式比较分析

上述四种经营方式在理论上均可以为企业带来利润的增加,但是在实际经营中是否均可行呢?

方式 1,产品成本 C 和销售数量 Q 保持不变,产品价格 P 增加。这里提到的产品价格是产品的市场价格,即商品在市场上买卖的价格。同一种商品在同一市场上一般只能有一种价格。市场价格取决于两个因素:商品的价值和该种商品在

市场上的供求状况。商品的价值一定,商品在市场上的供求关系决定了商品的均衡价格。在其他因素保持不变的情况下,当市场价格与均衡价格相等时,市场价格一般不会变动;当市场价格与均衡价格不相等时,市场中自发的供求关系的作用会使市场价格趋近于均衡价格。所以,产品价格往往取决于市场,不由任何企业单独控制,企业很难通过这一方式实现利润的增加。

方式2,产品成本 C 和产品价格 P 保持不变,销售数量 Q 增加。销售数量 Q 与市场需求密切相关。经济学中的需求是指在一定时期、在某一既定的价格水平下,消费者愿意并且能够购买的商品数量。形成需求有三个要素:对物品的偏好、物品的价格和手中的收入。物品的价格在方式1中已假设为不变,因此重点关注企业对其他两点的可控性。具体来说,个人偏好是客户在消费时的购买欲望,是潜藏在人们内心的一种情感和倾向,反映了客户的主观愿望。客户对可供选择的商品或服务可以按照个人偏好进行排序,企业能做的是通过各种市场营销的方式发现需求、引导需求并且满足需求,而这一活动的实施效果则更多依赖于推广人群的特点,不完全取决于企业的引导。个人收入指个人在一年内得到的全部收入。它反映了个人的实际购买力水平,预示了未来消费者对于商品、服务等需求的变化。个人收入的差异往往是由多方面原因导致的,例如性别、年龄、教育背景,以及所在行业等,这些都是在短时间内无法改变的。综合上述两点看出,通过提升销售数量 Q 来实现利润的增长是一种可行的选择,但是销售数量提升的效果往往过于依赖外部环境,且周期较长。

方式3,销售数量 Q 和产品价格 P 保持不变,产品成本 C 降低。区别于前两种方式,方式3是在向企业自身要利润,这也正是精益制造与管理所采用的方式。在这种方式中成本不再是固定因素,它可以根据企业控制成本的能力而改变。面对日趋激烈的市场竞争,成本控制的效果将会直接影响企业经营效益,如果因成本过高而导致价格昂贵,客户就不会买你的产品,这样不但不能得到期望的利润,而且还会降低产品的竞争能力。“售价=成本+利润”与“成本=售价-利润”两种思维方式的转变其实是一种解决问题思路的转变,也许放弃单纯依靠提高产品售价、转嫁费用负担来增加企业利润的做法是一种更好的选择。当售价作为常量或者需要降价时,若要取得预期利润,就必须从降低成本上找出路。关注产品从设计开发到生产销售全周期的各类活动,最大限度地降低各种形式的浪费,打破常规认知、挖掘企业内部潜力,是实现企业利润增加的有效途径。

方式4,综合使用前三种方式。上述三种提高利润的方式均可行,但是在实际操作中难度各不相同,实践者可根据企业的实际需求将上述三种方式搭配使用,使得利润增加效果更加明显。

总之,企业的经营目的是要追求图1-2中阴影面积的扩大,即利润的增加。能够采用的措施中提高技术开发能力毫无疑问是可行的,而通过精益管理创新降低成本、提高效率、提高质量,并不受市场等环境和条件的限制,是更好的选择。

1.2 生产管理与运作管理原理

1.2.1 逻辑模型

1.1 节从经营原理的角度探究了企业提高利润的最可行且易掌控的方式是降低成本,而要有效降低成本就要从企业内部入手对整个转化系统进行分析,通过管理的方式使输入资源在特定时期、特定环境下获得更大的产出,即追求资源利用效率 $\eta = \text{产出} / \text{投入} \times 100\%$ 最大化,这也就是精益制造与管理所追求的高质量、低成本和高效率。上面提到的转化系统是指由人、机器、物料、方法和环境(4M1E)构成的有机整体,能在某一时期 T 将一定资源输入 Q_0 转化为特定输出 Q_1 ,如图 1-3 所示,其中 V 代表物流速度。

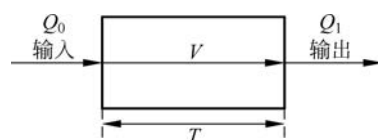


图 1-3 系统转化过程图

由图 1-3 可知,企业的生产效益 E 和 T 、 Q 、 V 三个参数的关系可用下式表达:

$$E = f(T, Q, V)$$

也就是说, E 是 T 、 Q 、 V 三个变量的函数,但 T 、 Q 、 V 并不相互独立。只有实现 T 越来越短, Q 越来越少、 V 在满足市场需求条件下越来越快,企业才能获得最大效益。这是理论上的分析,实际实施受多种因素影响,是相当不容易的,效果好坏取决于企业的实施管理水平和管理技术能力的高低。

进一步解释,资源输入 Q_0 是实现转化功能的必备前提条件。资源主要有两大类:有形资源和无形资源。有形资源主要指土地、厂房、机器、设备、能源、动力、各种自然资源、人力资源等;无形资源主要指管理、市场、技术、信息、知识、智力资源以及企业形象、企业文化、产品品牌、客户关系、公众认可等。

特定输出 Q_1 是生产系统的基本要素,也是其存在的前提条件。一般包含以下三种类型:产品,包括硬件产品和软件产品;服务,包括售前服务、售后服务、技术输出、人员培训、咨询服务等;信息,包括质量信息、价格信息、运输信息、生产计划信息等。

转化方式可以分为以下几类:实体(如制造业)、位置(如运输业)、交换(如零售业)、储存(如仓储业)、生理(如医疗照护)、资讯(如通信业)等。转化过程的优劣主要通过质量(quality)、效率(efficiency)、成本(cost)等指标进行衡量。

简单地说,精益管理就是使物流速度 V 在满足市场需求的条件下越来越快,生产周期越来越短,资金占用越来越少。

1.2.2 基本原理

图 1-3 所示的转化系统涉及四个变量,即输入(Q_0)、输出(Q_1)、生产周期(T)

和物流速度(V)。其中,当 Q_1 作为因变量时, Q_0 、 T 和 V 是自变量,因变量与自变量间存在着因果关系,三个自变量之间也存在相互依存关系,如式(1-2)~式(1-5)所示

$$Q_1 = f_1(Q_0, V, T) \quad (1-2)$$

$$T = f_2(Q_0, V) \quad (1-3)$$

$$V = f_3(Q_0, T) \quad (1-4)$$

$$Q_0 = f_4(V, T) \quad (1-5)$$

转化系统的基本功能就是使转化过程具有增值性,如式(1-6)所示,即系统输出与系统输入所形成的价值差额为正。在同样输入条件下,系统输出越多越好。为了追求资源输出的竞争力,就要提升系统的管理效率,对涉及资源输入(Q_0)、生产周期(T)和物流速度(V)的转化过程进行有效控制,从质量、效率、成本三个角度考虑。

$$R = Q_1 - Q_0 \quad (1-6)$$

1. 质量

质量是转化过程中企业首要保证的指标,美国著名质量管理专家朱兰博士从顾客角度出发,指出产品(服务)质量就是产品(服务)的适用性,即产品(服务)在使用时能成功地满足用户需要的程度,追求的是性能、成本、数量、交货期、服务等因素的最佳组合。无法满足用户需要的产品(服务)是没有市场的,同时也是无法为企业创造效益的。企业可以从产品(服务)的经济特性、服务特性、环境特性和心理特性等方面综合衡量用户的满足程度。检验产品质量水平的同时,更要关注转化过程的质量控制。

2. 效率

企业在保证产品(服务)质量的前提下须尽可能保证系统的高效性。以生产型企业为例,企业一般采用生产周期对效率进行考量。从广义角度讲,生产周期包括设计研发、生产制造及售后服务的全过程,缩短生产周期对企业有着非常重要的意义,不仅能够提高用户满意度,同时可以加快客户反馈速度,对产品的改进及质量的提升都有所帮助。生产周期的长短主要取决于转化方式的选择,即转化(生产)的能力,通常能力越大,速度越快、质量越高、成本越低。

3. 成本

从成本角度衡量的指标一般为投入产出比,如式(1-7)所示。投入产出比是指全部投资与产出增加值总和之比,其值越小,表明经济效果越好。在式(1-7)中,该值和资源输入、生产周期和物流速度紧密相关。其中,资源输入是实现转化功能的必备前提条件,是生产系统的源头,每一宗原材料、在制品在初期就已经决定了生产过程的好与坏。而在实际生产过程中,生产规模不合理、资源浪费严重、人机资源不匹配和生产要素利用不充分等问题也往往会造成企业的生产高成本。降低生产成本的一个有效途径就是在企业资源有效配置的基础上实现最优配置。因此,

企业管理本质是不断探索更好的转化方式。

$$\eta = \frac{Q_0}{Q_1 - Q_0} \times 100\% = \frac{Q_0}{f(Q_0, V, T) - Q_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

1.2.3 可行方式与方法

从上面的分析可以看出,管理是制约和决定企业效益的重要因素,企业具备充分竞争力的一个必然条件就是管理高效性。同样的经营环境、同样的产品、同样的技术设备,为什么有的企业亏损,有的企业赢利?其中,关键原因在于企业内部管理状况和水平不同,归根结底,在于管理效率不同。

从理论上讲,管理效率与企业效益存在着正相关关系。生产活动与资源输入和转化过程直接相关,结果和产出不过是资源输入和转化过程有效性的延伸,一个企业的产出效率高于同类型企业的平均水平时,其赢利的可能性就相对较大。而达到这一目标不仅需要企业具备较高技术水平,同时更需要强大的管理与经营水平,充分有效地获取和使用各种资源,在内部实施组织管理、计划管理和程序管理等管理方法,促使各个环节发挥相互制约、相互协调作用,使系统真正实现高效化、专业化、规范化、科学化和自动化。但是,不同管理方式、管理手段具有不同效率结果;同一种管理方式在不同社会历史条件下所产生的管理效率也不尽相同。为了取得高管理效率,就会有管理方式、手段的选择问题。

模型中提炼出了转化系统中的三个精益参数,即资源输入(Q_0)、物流速度(V)和生产周期(T),针对这三个精益参数的改善,可以将其与影响该参数的精益要素匹配,并与要素功能(状态)和精益活动相对应,如图 1-4 所示。

“人、机、料、法、环”是现场管理中的五个基本要素。人,指制造产品的人员;机,指制造产品所用的设备;料,指制造产品所使用的原材料;法,指制造产品所使用的方法;环,指产品制造过程中所处的环境。资源输入(Q_0)、物流速度(V)和生产周期(T)这三个变量与这五个基本要素均有一定联系,但是联系有强弱区别。其中,资源输入(Q_0)和料及法有直接联系,这里的“料”主要是指来料的品质、数量和周期,与品质对应的精益活动包括“品质管理”和“自働化^①”等,与数量对应的精益活动包括“均衡化管理”和“准时化生产”等,与周期相关的精益活动包括“准时化物流”“均衡化管理”和“准时化生产”等;而“法”主要指包括规划设计、计划组织和评价控制等在内的方法体系,它与所有精益活动均有所对应。同时,人、机、环等精益要素也会对资源输入(Q_0)产生一些间接影响,比如人员技能熟练程度在加工操作时会对原材料加工质量产生影响,生产环境嘈杂程度及安全性也可能会对生产调度效果产生影响。同理,可以看到物流速度和生产周期也与相应的精益要素对应,通过改善与精益要素所对应的相关精益活动,可以有效改善转化系统中的指标,进而有效提升管理效率。

^① 关于“自働化”的解释,详见 3.3.6 节。

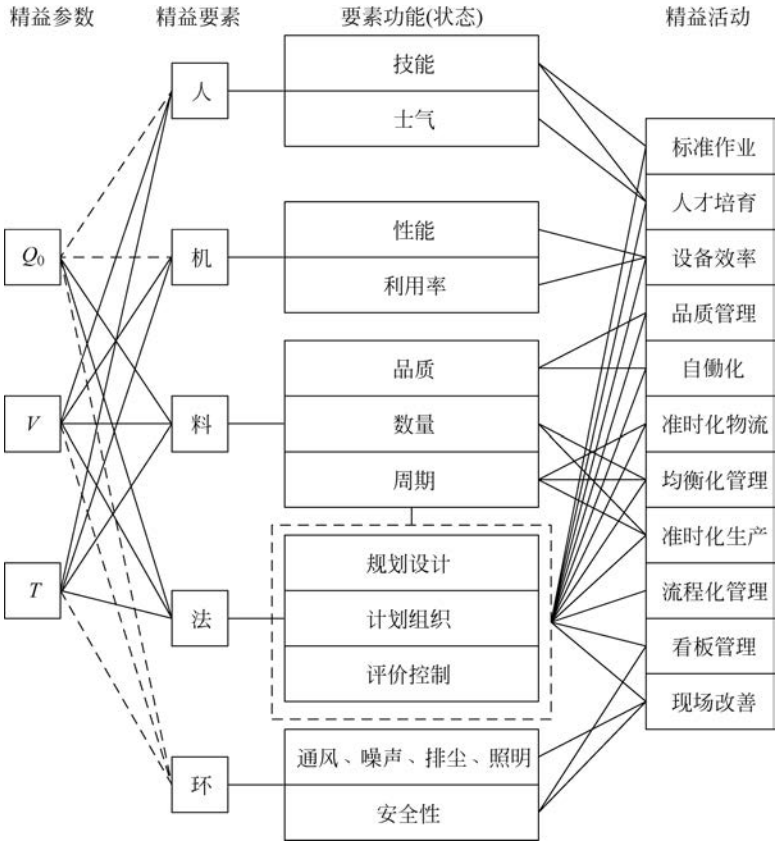


图 1-4 精益参数、精益要素、功能(状态)、活动关系图

精益参数、精益要素、要素功能(状态)与精益活动为精益改善的四个层面,在每一层面中各个元素之间也存在着相互影响。假设某一工厂存在生产周期过长、无法按时交付产品的现象,针对这一问题的首要改善目标就是缩短生产周期(T)。而在分析影响生产周期(T)长短的因素时,我们发现其与同一层面的资源输入(Q_0)和物流速度(V)是相互作用的,同时又受到精益要素层面——“人、机、料、法、环”五个要素或强或弱的影响,进而会影响精益活动。所以,对于某一具体参数的改进,需要进行起始因素、中间因素与最终因素的逐层分析。

1.2.4 示例分析

有三家同类企业,其基本经营情况如下: A 企业期初资源输入(Q_0)1000 万元,该输入资源每年周转 1 次,期末收益(Q_n)2000 万元; B 企业期初资源输入(Q_0)200 万元,该输入资源每年周转 5 次,期末收益(Q_n)2000 万元; C 企业期初资源输入(Q_0)50 万元,该输入资源每年周转 20 次,期末收益(Q_n)2000 万元。若按照每 25 万元资源输入配备 1 单位人力资源计算,则 A 企业配备 40 人,B 企业配

备 8 人,C 企业配备 2 人。每人每年的人工费用为 8 万元,银行贷款利息记为 6.5%,质保费记为 4%,安保费记为 2%,能耗记为 10%,税费记为 10%。三个企业的经营情况如表 1-1 所示:

表 1-1 企业经营情况表

企业	Q_0 /万元	$n=1/T$ /次	Q_n /万元	人员 数量	人工 /万元	利息 /万元	质保 /万元	安保 /万元	能耗 /万元	税费 /万元	净收益 /万元
A	1000	1	2000	40	320	65	40	20	100	200	255
B	200	5	2000	8	64	13	8	4	20	200	1491
C	50	20	2000	2	16	3.25	2	1	5	200	1722.75

根据表 1-1 数据,按照净收益计算公式计算 A、B、C 三家企业的净收益情况,即净收益=期末收益-(期初输入+人工费用+利息+质保费+安保费+能耗费+税费):

$$E_A=[2000-(1000+320+65+40+20+100+200)] \text{ 万元}=255 \text{ 万元}$$

$$E_B=[2000-(200+64+13+8+4+20+200)] \text{ 万元}=1491 \text{ 万元}$$

$$E_C=[2000-(50+16+3.25+2+1+5+200)] \text{ 万元}=1722.75 \text{ 万元}$$

从计算结果可以看出,三家企业期末总收益均为 2000 万元,但是三家企业的净收益存在巨大差异,究其原因是期初资源输入和资金周转率不同导致了后续费用不同。资金周转率简单地说就是资金在一年内的周转次数,它能够体现企业经营期间全部资金从输入到产出的流转速度,反映企业全部资金的管理质量和利用效率。

一般来说,如图 1-5 所示,同样的期初输入(Q_0),企业资金周转率越高,即一年内资金周转次数越多,该企业利用其资金的效率越高,公司获利(Q_n)能力越强。若企业资金周转率低,则得到同等期末收益的情况下需要在期初输入更多的资金,从而带来人力资源等投入数量的增加,以及期初资金投入带来的后续财务费用增加。所以,为了达到某

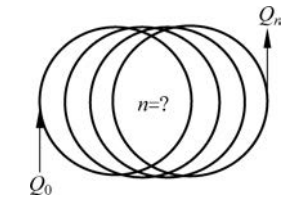


图 1-5 资金周转次数示意图

一预期净收益,需要在期初进行一定投入,但是投入多少主要取决于资金周转率的大小,即企业过程管理的效率性水平。

总之,所谓精益管理就是要在保证质量的前提下,使生产周期 T 越来越短,物流速度 V 越来越快(满足市场需求条件下),资金投入 Q_0 越来越少。

1.3 精益制造与管理的理论基础——工业工程

1.3.1 工业工程的概念

工业工程诞生于美国,迄今已有 100 年历史,应用发展主要在日本,在世界各

工业发达国家广泛使用。我国从20世纪90年代开始学习和应用工业工程。在工业工程形成与发展的过程中,不同国家、专业组织在不同时期对工业工程给出了许多定义。

美国工业工程师学会(AIIE)1955年提出的定义最具有权威性,几经修改,至今仍然被广泛采用,其表述如下:“工业工程是对由有关人员、物资、设备、能源和信息所组成的集成系统进行设计、改善和设置的一门学科。它综合运用数学、物理和社会科学方面的专门知识与技术,并且使用工程分析的原理和方法,对上述系统可能取得的成果予以确定、预测和评价。”这个定义已被美国国家标准学会采用为标准术语,收录为美国国家标准Z94及工业工程术语标准。它被认为是工业工程的基本定义。该定义表明工业工程实际是一门方法学,它告诉人们,为把人员、物料、设备和设施等组成有效的系统,需要运用哪些知识、运用什么思维分析问题、采用什么方法研究问题和运用哪些特定的技术手段解决问题。此定义明确指出了工业工程研究的对象、方法、内容和学科性质,不足之处是没有明确指出工业工程的核心目标。

《美国大百科全书》(1982年版)对工业工程的定义是:“工业工程是对一个组织中人员、物料和设备的使用以及费用情况的详细分析和研究,这种工作由工业工程师完成,目的是使组织能够提高生产率,获得更高的利润和整体效率。”这一定义直接反映了工业工程的目的、功能和实现的途径。美国著名的工业工程专家菲利普·E.希克斯(Philip E. Hicks)博士指出:工业工程的目标就是设计一个生产系统及该系统的控制方法,使它以最低的成本生产具有特定质量水平的某种或几种产品,并且这种生产必须是在保证工人和最终用户健康与安全的条件下进行的。

日本工业工程协会(JIIE)根据AIIE的定义,将工业工程定义为:“工业工程是从事把人员、原材料、设备作为一个整体系统去发挥其功能的科学,它是进行经营管理系统方面的设计、改善与设置工作的学科。为了规划、预测、评价经营管理系统成果,运用数学、自然科学、社会科学中的特定知识,同时使用技术分析与归纳的原理和方法。”这一定义基本继承了美国工业工程师学会的定义内容,将物理学和社会科学改为自然科学和人文科学。丰田生产方式的实践者,被誉为“改善之神”的前丰田副社长大野耐一,将工业工程简单而精练地定义为:“直接涉及经营管理的全公司性生产技术。”

我国高等学校工业工程类专业教学指导委员会根据我国国情对工业工程下的定义是:“工业工程(IE)是应用自然科学与社会科学知识,特别是应用工程科学与管理科学中系统分析、规划、优化、设计、控制和评价等手段,解决生产与服务等系统的效率、质量、成本及环境友好等管理与工程综合性问题的理论和方法体系,具有系统性、交叉性、人本性与创新性等特征,适用于国民经济多种产业,在社会与经济发展中起着重要的积极推动作用,亦可称为产业工程。”概括地说:IE是一种创新思维、一套方法论、一种管理技术等。本书作者称上述定义为中国式工业工程概

念(Chinese industrial engineering,CIE)。

CIE 具有以下特点:第一,CIE 是科学与工程技术和管理的结合,具有管理属性的科学技术体系;第二,CIE 的目的是追求生产与服务系统的高效率、低成本、高质量的效益和环境友好;第三,CIE 的应用对象是由人员、物料、设备、能源和信息所组成的生产与服务系统;第四,CIE 使用分析、设计、运行、控制、评价和优化的技术体系;第五,CIE 具有系统性、交叉性、人本性与创新性等特征,适用于国民经济多种产业,其社会应用价值较高。

1.3.2 工业工程的内涵及作用机理

1. 工业工程的内涵

工业工程的内涵,需要从工业(industry)和工程(engineering)两个基本概念来说明。首先,industry 不仅仅包含工业的含义,还包含产业的含义,即 industry 涉及工业、农业、交通和医疗服务等诸多产业领域,所以工业工程也可称为产业工程。

早期形成的工业工程(也称为“经典工业工程”或“基础工业工程”)可以定义为以制造企业生产过程或生产系统为研究范围,以具体生产活动为研究对象,以提高单机、单人劳动效率为目的,在技术与管理之间起着桥梁作用的学科。其科学理论是以当时泰勒的“科学管理”为基础,进一步形成了包括吉尔布雷斯夫妇的“动作研究”“时间研究”“疲劳研究”,埃莫森的“效率学说”,甘特的“甘特图”和休哈特的“统计质量控制”等在内的较为系统的理论和方法。现阶段,随着研究对象和内容的扩展,研究方法和手段的丰富与现代化,基础工业工程可以被认为是由工业工程学中最本质的学科目标、最基础的研究思想和方法所组成的,其内涵是研究提高管理和技术相关联的劳动工效的解决方案问题。这里的“劳动”概念不仅包括体力劳动,还包括脑力劳动;不仅指单人劳动,还指组织的整体工作。这里的“工效”概念包含了效率和效果两方面的含义。基础工业工程的外延应是一切社会组织中的运营活动,包括制造业和服务业等营利性企业组织,也包括医院、学校等非营利性事业组织,以及政府机关部门等行政组织。

2. 工业工程的学科与专业特性

根据前述介绍,显然工业工程将管理思想、方法与工程原理和技术高度融合,对任何产业和组织都具有很好的指导作用,具有丰富的内涵。这里,我们将工业工程的内涵做如下概述:

从学科性质看:工业工程是一门自然科学、工程学、管理学与人文社会学相结合的交叉学科,是工业管理和组织运营不可或缺的知识系统。

从研究对象看:工业工程以由人员、物料、设备、能源和信息组成的各种生产系统、经营管理系统以及服务系统为对象,研究系统能力的提升、生产要素的构成及其相互作用关系优化的理念和方法。

从研究方法看:工业工程基于管理学的基本思维,运用数学、物理学的基本方