



基于学习曲线的 ERP 实施培训时间决策模型

邵真,冯玉强,刘洋

哈尔滨工业大学 管理学院, 哈尔滨 150001

摘要:通过分析ERP项目的特点,将学习曲线引入到ERP实施的研究中,基于学习曲线理论刻画企业的工作效率随项目时间变化的规律。在此基础上,将ERP项目抽象为前期的培训和后期的具体实施两个阶段,以项目实施周期和咨询成本最小为目标,建立ERP实施培训时间决策模型,通过培训时间控制并预测ERP项目的整体周期,进一步利用遗传算法对模型进行优化求解。为区分信息化基础不同的企业在项目初期工作效率的差异,在模型中加入初始工作效率这一变量,通过企业的信息化基础水平间接地测算企业的初始工作效率;结合行为导向的实证研究结果,在模型中限定培训时间的取值范围,解决多个近似解之间的取舍问题。案例研究表明,模型在实际应用中可以起到较好的优化和预测效果,能够为企业制定ERP项目计划和投资预算提供决策支持。

关键词:ERP实施;培训时间;学习曲线;遗传算法

中图分类号:C931.6

文献标识码:A

文章编号:1672-0334(2010)04-0077-09

1 引言

市场竞争日益激烈,越来越多的企业通过信息化手段规范内部管理流程,提升业务处理效率。纵观全球,企业资源规划(enterprise resource planning, ERP)系统已经成为公司最重要的信息技术手段之一^[1]。由于ERP系统具有高复杂性特点,其实施过程往往不能由企业方独立完成,更多的需要借助外部咨询公司和咨询顾问的力量^[2-4],在这一过程中,咨询费用成为ERP项目的主要成本^[5]。一项针对北美地区企业进行的调查显示,咨询费用占企业全部ERP预算的29%,而软件和硬件的费用加在一起仅占23%^[6]。目前咨询费用主要以“人/天”方式进行计算^[7],项目时间直接决定总的咨询成本。为有效地控制项目咨询成本,企业方需要严格控制ERP项目实施周期。

作为项目咨询的重要组成部分,培训能够促进知识由外部顾问向企业内部用户转移,在控制ERP项目实施周期方面扮演着十分重要的角色^[8-10]。随

着培训时间的增加,知识逐步由外部顾问转移到企业员工身上,ERP实施效率逐步提高。然而,过长的培训时间会增加企业的咨询成本,而培训时间过短又会导致ERP实施效率低下,使ERP项目整体进度缓慢,导致项目延期。因此,如何在保证培训效果的基础上,确定合理的培训时间,以达到项目实施周期最短、咨询成本最低,已经成为ERP项目实施过程中企业方必须面对的最为关键的决策问题。

由于ERP实施对企业方来讲本质上是一个学习的过程,可以利用学习曲线这一量化工具建立培训时间与项目整体进度之间的联系,在此基础上对建立的模型进行优化,确定合理的培训时间和项目实施周期。

2 相关研究评述

2.1 学习曲线概述

学习曲线又称经验曲线,由Wright于1936年提出,用以刻画生产效率随时间变化的规律^[11]。

收稿日期:2010-05-10 **修返日期:**2010-07-26

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-06-0348)

作者简介:邵真(1983-),女,黑龙江哈尔滨人,哈尔滨工业大学管理学院博士研究生,研究方向:企业信息化和电子商务等。E-mail:shaozhenlily@yahoo.com.cn

Wright 发现在产品生产过程中,随着累计产量的增加,产品单位工时会逐渐下降,生产效率逐渐上升,但当累计产量达到一定数量后,产品的单位工时基本保持不变,生产效率趋于稳定^[11]。生产效率与时间之间的关系如图 1 所示。

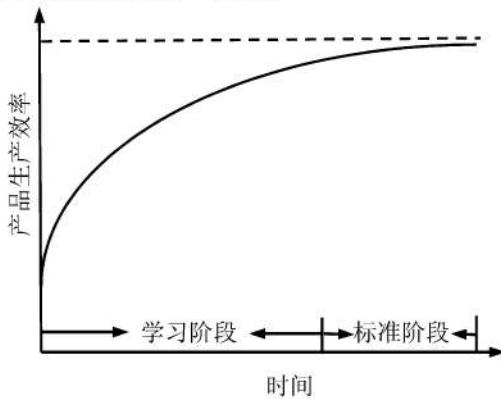


图 1 学习曲线

Figure 1 Learning Curve

图 1 中的曲线为指数型学习曲线,包含学习阶段和标准阶段。学习阶段产品的生产效率随累计产品数量的增加而增加,并且生产效率的增长速度呈下降趋势(曲线的斜率逐渐减小);在标准阶段,当累计产品生产数量增长到一定值后,生产效率基本保持不变。因此,学习曲线的特点是在开始阶段上升速度很快,之后上升速度逐渐递减,最终上升速度趋于零,曲线趋于平坦。显然,对于不同产品或不同企业,组织的学习效率存在着差异,影响曲线的变化速度。因此在实际研究中,需要根据企业的实际特点来测算相应的学习率^[11]。

学习曲线被提出后,引起学术界的广泛关注。目前国际上关于学习曲线的研究已经有比较丰富的成果,在企业中得到很好的应用。国外学者针对应用的具体环境,对模型进行不断的改进和扩展,将学习曲线应用于生产制造、服务等多个行业,用以预测产量、生产效率、成本等可以与时间建立起联系的变量^[12-15]。

2.2 学习曲线在信息化领域的应用

随着对学习曲线模型研究的深入,该模型逐渐被应用到项目管理和信息技术消化吸收等领域中。Butler 提出 S 型曲线模型,并利用它解释技术在组织内部的创新扩散过程^[16];Cioffi 将 S 型学习曲线引入项目管理研究中,创建一种跟踪项目进展的方法^[17];Ngwenyama 等利用 S 型学习曲线建立软件升级时间决策支持模型^[18];Plaza 等通过对 IT 项目的分析,对 S 型曲线进行简化,提出指数型的学习曲线,用来预测 ERP 项目的实施效率随时间变化的趋势^[19-21];Dardan 等利用指数型学习曲线分析引入新的信息技术对企业生产率和财务状况产生的影响,实证研究表明,指数型学习曲线具有较好的预测精度,能够广泛应用于信息技术研究领域^[22]。

综上所述,尽管学习曲线模型在项目管理、信息

技术投资等方面被广泛应用,但利用学习曲线模型对 ERP 实施进行的研究却相对较少。在仅有的两篇国外文献中,Plaza 等利用指数型学习曲线探讨培训时间与 ERP 项目整体进度之间的关系^[20],但其所建立的模型没有考虑企业信息化基础对项目进度产生的影响,假设所有企业的信息化基础都一样。事实上,不同企业由于信息化基础的差异,在实施初期的工作效率是不一样的,因此其模型在一定程度上并不完整。同时,由于其模型计算过程复杂,限制了该研究成果在现实中的推广应用。

因此,本研究对 Plaza 等的模型进行进一步的扩展,将企业在 ERP 项目初期的初始工作效率加入到模型中,并从硬件资源的便利性、基础数据编码质量、领导者的信息化素质、员工的信息化能力 4 个方面评估企业的信息化基础水平,间接测算企业在项目初期的初始工作效率;同时,参考行为导向的实证研究结果,在模型中对培训时间的取值范围进行限制,在此基础上建立 ERP 实施培训时间决策模型,并通过遗传算法对模型进行求解,最后通过一个案例对模型在实际中的应用进行说明。

3 ERP 实施培训时间决策模型

3.1 建立 ERP 实施培训时间决策模型

参考 Plaza 等的研究^[20],本研究将 ERP 实施项目抽象为两个主要阶段,即前期的培训阶段和后续的项目实施阶段,两阶段时间之和为 ERP 项目的整体实施周期,构成了咨询费用的直接计算基础。前期培训主要由顾问对员工进行 ERP 原理、标准流程和实施方法论的培训。在培训结束后即进入后续具体的实施阶段,由企业中参与 ERP 实施项目的员工配合实施顾问完成基础数据准备、期初数据录入、系统安装和并行测试等工作。研究表明,ERP 实施前期的培训是必要且重要的,只有在员工掌握 ERP 的原理、标准流程和实施方法论的基础上,才能在顾问的指导下更好地开展后续的实施工作。

为简化研究问题,本研究将企业中参与 ERP 实施的员工看做一个团队,通过学习曲线来描述实施团队的工作效率随 ERP 项目时间变化的趋势。在前期的培训阶段,虽然企业并没有开展 ERP 实施的具体工作,但随着培训时间的增加,员工逐渐积累了 ERP 实施的相关知识,实施团队的工作效率仍然处于上升趋势。而在后续的实施阶段,随着 ERP 实施工作的开展,员工投入越来越多的时间参与到 ERP 实施项目中,实施团队的工作效率逐渐提高。基于学习曲线理论,实施团队工作效率的增长速度逐渐降低并趋于零,此时实施团队的工作效率达到最大。

综上所述可知,ERP 实施团队在整个项目周期中的平均工作效率呈曲线上升的趋势,并逐渐趋于平坦。模型求解目标为,寻找某一培训时间,使整体 ERP 项目的实施周期最短,以支出最低的咨询费用。为进一步区分不同企业在 ERP 项目初期信息化基础的差异,本研究在 Plaza 等研究的基础上^[20],在模型

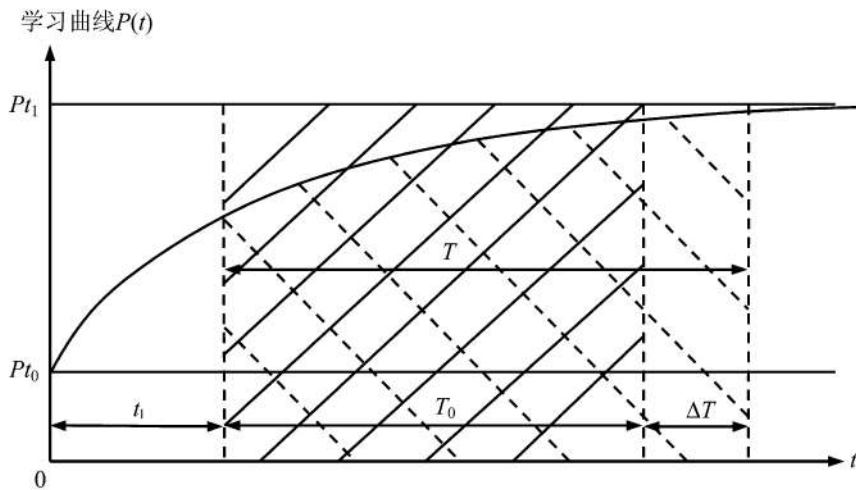


图2 ERP实施培训时间决策模型示意图

Figure 2 Illustration of ERP Implementation Training Time Decision Model

表1 ERP实施培训时间决策模型参数

Table 1 Parameters of ERP Implementation Training Time Decision Model

模型参数	参数含义
t	ERP项目的时间
$P(t)$	指数型学习曲线函数,用以描述实施团队的工作效率随时间 t 发生的改变
P_{t_1}	固定值,用以刻画企业信息化基础完备的情况下实施团队的最大工作效率
P_{t_0}	固定值,用以刻画培训初始阶段实施团队的工作效率,反映培训的起点,信息化基础越高则起点越高
T_0	固定值,表示实施团队在最大工作效率 P_{t_1} 下完成项目的理论时间
T	ERP项目实施的实际时间
t_1	培训时间,模型目标为通过寻找适当的 t_1 使 $(t_1 + T)$ 达到最小
ΔT	ERP项目实施的实际时间 T 与理论时间 T_0 之间的差异
$T_{\text{总}}$	整体的ERP项目时间,包括前期的培训时间 t_1 和后续的项目实施实际时间 T
k	指数型学习曲线系数,代表实施团队工作效率随时间 t 发生的改变,反映培训的效果

中加入实施团队在培训初始阶段的工作效率 P_{t_0} , 建立 ERP 实施培训时间决策模型, 模型示意图如图 2 所示。

本研究建立的 ERP 实施培训时间决策模型中各主要参数具体含义如表 1 所示。

在 ERP 实施过程中, 从业务流程优化到上线前的准备和最终系统上线, 企业应该始终处于主体地位, 而顾问主要起辅助指导作用, 因此最终的项目周期与企业实施团队的工作效率紧密相关。模型中的 T_0 指当企业的信息化基础设施完备、实施团队具备很强的信息化能力时, 企业实施团队能够以最大工作效率 P_{t_1} 进行工作, 此时实施团队完成 ERP 实施项目所用的时间最短, 被定义为理论最小实施时间。考虑到实施顾问参与过多个 ERP 实施项目, 精通

ERP 相关的知识并具有丰富的项目实施经验, 因此实际项目实施中往往由顾问根据参与到 ERP 实施项目中的员工人数来估算理论最小实施时间 T_0 ^[20,21]。事实上, 由于大多数企业在项目初期的信息化基础水平较低, 员工不了解信息化相关的知识且缺少信息系统的使用经验, 因此在接受短期培训后往往不能达到最大工作效率 P_{t_1} , 实际完成 ERP 项目所用的时间 T 往往大于理论最小实施时间 T_0 。

作为模型的核心部分, 学习曲线 $P(t)$ 表示 ERP 项目实施过程中实施团队的工作效率随时间 t 发生变化的情况。实施团队的工作效率可以通过单位时间内完成的与 ERP 实施相关的任务量来衡量, 如 1 天完成多少条数据的编码、1 天完成多少张业务单据的录入等。考虑到 ERP 实施过程包括业务流程重

组、基础数据准备和期初业务单据录入等多种工作,本研究用 $P(t)$ 代表实施团队工作效率的平均值,而不对 ERP 实施过程的每种工作效率都进行单独刻画。因此,本研究建立的模型中学习曲线部分可表示为

$$P(t) = (Pt_1 - Pt_0)(1 - e^{-kt}) + Pt_0 \quad (1)$$

ERP 项目实施过程中需要完成的任务量是固定的,如果企业的信息化基础水平很高,实施团队在实施初始阶段就能以最大工作效率 Pt_1 进行工作,在理论最小时间 T_0 内就可以完成工作,对应于图 2 模型中实线阴影部分的面积;如果企业的信息化基础水平较低,实施团队在初始阶段的工作效率小于 Pt_1 ,则完成项目所需要的实际时间 T 要大于理论实施时间 T_0 ,对应于图 2 模型中虚线阴影部分的面积。显然,两部分阴影面积应相等,因此可以依据这一关系建立如下等式,即

$$\int_{t_1}^{t_1+T} P(t) dt = \int_{t_1}^{t_1+T_0} Pt_1 dt \quad (2)$$

以 ΔT 表示 ERP 项目实际实施时间 T 与理论实施时间 T_0 之间的差异,且满足 $T = T_0 + \Delta T$ 。将(1)式和 $T = T_0 + \Delta T$ 代入(2)式中,经计算得到如下关系,即

$$Pt_1 \Delta T + (Pt_1 - Pt_0) \frac{e^{-k(t_1+T_0+\Delta T)} - e^{-kt_1}}{k} = 0 \quad (3)$$

在(3)式中,实施团队在培训初始阶段的工作效率 Pt_0 和最大工作效率 Pt_1 之间的比值可以通过对企业的信息化基础评测间接得到,而学习曲线系数 k 可以通过测算员工短期培训后的平均工作效率计算得到(后文详细介绍计算过程)。因此(3)式中除 t_1 、 ΔT 外,其余变量均为常数。将 t_1 表示为 ΔT 的函数,整理可得

$$t_1(\Delta T) = \frac{1}{k} \ln \frac{(Pt_1 - Pt_0)[1 - e^{-k(T_0+\Delta T)}]}{kPt_1 \Delta T} \quad (4)$$

由于整体 ERP 项目时间为 $T_{\Sigma} = t_1 + T_0 + \Delta T$, T_0 为常数,将(4)式代入该式,可得到一个以 ΔT 为唯一变量的函数。实证研究表明,在 ERP 实施过程中,培训时间占整体时间 20% 左右的项目同培训时间只占整体 10% 左右的项目相比,前者明显具有更高的成功率^[23,24]。因此,本研究将培训时间在项目周期中所占比例作为限制条件加入到模型中,则 ERP 实施培训时间决策模型的完整形式可以表示为

$$T_{\Sigma}(\Delta T) = \frac{1}{k} \ln \frac{(Pt_1 - Pt_0)[1 - e^{-k(T_0+\Delta T)}]}{kPt_1 \Delta T} + T_0 + \Delta T \quad (5)$$

$$S.T. \frac{t_1(\Delta T)}{T_{\Sigma}(\Delta T)} \geq 0.2 \quad (6)$$

3.2 测评企业信息化基础

对于(5)式求对数子式中,由于分子、分母中 Pt_1 和 Pt_0 量纲相同,可以采用相对值表示,而不会对计算结果产生影响。因此,只需要测算出实施团队在

培训初始阶段的工作效率 Pt_0 和最大工作效率 Pt_1 之间的比值即可。显然,企业在信息化项目初期的效率取决于企业的信息化基础水平,可以通过企业的信息化基础水平间接衡量企业的初始工作效率 Pt_0 。结合 ERP 实施的特点,下文从硬件资源的便利性、基础数据编码质量、领导者的信息化素质、员工的信息化能力 4 个方面来评估企业的信息化基础水平^[25,26]。

ERP 系统实施的过程中涉及到期初业务单据的录入和系统安装、并行测试等工作,完善的硬件设备有助于实施团队更方便、快捷地录入期初业务数据,并节省系统安装和配置所需要的时间,有助于缩短项目周期。因此,本研究将硬件资源的便利性作为衡量企业信息化基础的关键指标。参考现有研究^[25,26],从企业人均计算机的拥有率和局域网的建设两方面对其进行评估。

ERP 实施的过程中涉及到基础数据的准备工作,而数据编码是数据准备中的关键环节。在数据准备前,企业应该按照一定的编码规则,对销售、采购、生产和财务等多类业务数据进行编码,以保证编码的唯一性和有效性。研究表明,数据编码的质量是影响 ERP 项目进度的关键因素,质量较差的数据编码往往会导致 ERP 项目延期。因此,本研究将基础数据编码质量作为企业信息化基础的关键指标。参考现有研究^[25,26],从数据编码的完整性和一致性两方面对其进行评估。

ERP 实施需要对企业原有业务流程进行重组并对组织结构进行调整,而上述过程往往伴随着较大的风险,如由于组织内部的利益冲突而导致项目延期。实施顾问能够提供技术方面的指导,但往往难以解决组织内部的利益冲突。研究表明,高层领导者对 ERP 项目的重视度及其在信息化项目方面的管理经验能够及时地化解项目过程中可能产生的潜在风险和冲突,保证 ERP 项目的顺利实施,进而有效地缩短项目时间^[27]。因此,本研究将领导者的信息化素质作为评价企业信息化基础的关键指标。参考现有研究^[25,26],从领导者对信息化项目的重视程度和领导者对信息化项目的管理经验两方面对其进行评价。

作为 ERP 实施项目的主要参与人,员工对信息化知识的了解以及在信息系统软件方面的使用经验能够保证他们更好地配合实施顾问,完成 ERP 实施过程中的各项工作,有助于项目的顺利进行。因此,本研究将员工的信息化能力作为评价企业信息化基础的关键指标。参考现有研究^[25,26],从员工的信息化知识和信息系统使用经验两方面对其进行评价。

综上,本研究提出的企业信息化基础评价一级指标、二级指标和具体的评分方法如表 2 所示。

参照表 2,在打分结束后,对各二级指标的得分进行加和,得到企业信息化基础的总体得分。如果总体得分为 0,说明企业基本不具备信息化基础,可以认为 $Pt_0 = 0$; 如果总体得分为 40,说明企业的信息化基

表2 企业信息化基础评价指标体系
Table 2 Evaluation Index System of Enterprise Information Foundation

一级指标	二级指标	评分方法
硬件资源的便利性	计算机设备拥有率	由外部顾问在ERP实施前对企业进行调研,根据企业的实际情况,对各二级指标在0~5的范围内打分,最低0分,最高5分。
	局域网的建设水平	
基础数据编码质量	数据编码的完整性	
	数据编码的一致性	
领导者的信息化素质	领导者对信息化项目的重视程度	
	领导者对信息化项目的管理经验	
员工的信息化能力	员工的信息化知识	
	员工的信息系统使用经验	

础很好,能够以最大的工作效率 P_{t_1} 完成ERP实施工作,并取得最短的实施周期 T_0 ;如果企业的总体得分介于(0,40)之间,将实际得分与最高分的比值作为企业在项目初期的工作效率。设企业信息化基础总体得分为 S ,则上述计算过程可以表示为

$$P_{t_0} = \frac{S}{40} \cdot P_{t_1}$$

$$S \in [0, 40] \tag{7}$$

3.3 测定指数型学习曲线系数 k

指数型学习曲线系数 k 代表企业方实施团队的学习效率,反映学习曲线的变化趋势。为测算学习曲线系数 k ,需要对企业方实施团队的主要成员(简称关键用户)进行短期培训,在培训结束后测算员工的平均工作效率,在此基础上求解 k 值^[20]。设在接受时间 t_1 的培训后,关键用户在时间 t^* 完成的ERP实施工作量为 W^* ,实施团队在时间 t^* 内的平均工作效率为 P_{t^*} 。计算 k 值的具体步骤如下。

步骤1 关键用户在接受短期培训后,能够在时间 t^* 内完成工作量 W^* ,则认为其可以代表企业方实施团队的平均工作效率,即 P_{t^*} 可表示为

$$P_{t^*} = \frac{W^*}{t^*} \tag{8}$$

步骤2 根据顾问的实际项目经验,估计顾问独立完成工作量 W^* 所用的时间为 t^1 ,则认为关键用户能达到顾问的工作效率,企业方实施团队也能达到顾问的工作效率,即最大工作效率 P_{t_1} 可表示为

$$P_{t_1} = \frac{W^*}{t^1} \tag{9}$$

步骤3 通过测算企业的信息化基础水平,参考(7)式,得到企业在ERP实施项目初期的工作效率和最大工作效率的比值为

$$\frac{P_{t_0}}{P_{t_1}} = \frac{S}{40} \tag{10}$$

步骤4 通过(1)式,得到 k 的表达式为

$$k = - \frac{1}{(t_1 + t^*)} \cdot \ln \left(1 - \frac{P_{t^*} - P_{t_0}}{P_{t_1} - P_{t_0}} \right) \tag{11}$$

将(8)式、(9)式和(10)式代入(11)式,即可求得 k 值。

得 k 值。

4 基于遗传算法的模型求解

从(5)式不难看出,其对于 ΔT 求导后的结果是一个关于 ΔT 的复杂函数,没有办法对其进行直接求解。而对本研究的问题而言,近似最优解即可满足企业管理者决策的需求,并不要求完全精确,所以本研究建立的模型可以利用现代启发式算法对最优培训时间进行求解。在众多现代启发式算法中,遗传算法以其优越的性能得到广泛的应用,由于遗传算法自身特点与本研究的问题相符,因此选择遗传算法对模型进行求解。遗传算法计算逻辑过程如图3所示^[28,29]。

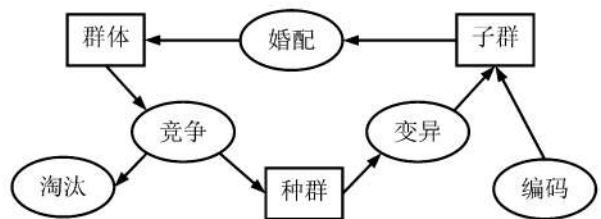


图3 遗传算法计算逻辑示意图
Figure 3 Illustration of Calculation Logic of Genetic Algorithm

(1) 编码。编码是遗传算法的基础工作之一,用以将问题解的表示转换成遗传空间解的表示,个体的编码称为基因型、位串或染色体,主要的编码方式有二进制编码和浮点数编码两类。

根据(5)式,模型中编码对象为 ΔT 。本研究模型中的实施时间属于连续变量,但就实际应用而言,ERP实施决策并不要求有如此高的精度,1天的误差属于可接受范围,因此可以采用二进制方式进行编码。在实际案例中可以结合不同类型ERP项目实施周期特点确定编码长度 n 。需要注意的是,对于(5)式求指数幂子式中,如果以天为单位,得到的指数幂值过小,编程实现过程中对计算机精度要求过高,因

此本研究以10天为单位。

任何一个变量 ΔT 可以用一个长度为 n 的编码表示,即

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sum_{\beta=1}^n 2^{n-\beta} a_{\beta} \quad (12)$$

其中, a_{β} 为左起第 β 位二进制编码的取值, $a_{\beta} = 0$ 或1。例如,某小型ERP实施项目周期一般为半年左右,即项目总时间不会超过180天,因此可以选择 $n = 8$,共8位编码表示,按照(12)式, $\Delta T = 31$ 天可以表示为(00011111)。

(2)适应函数。适应函数可以依据目标函数而定,形式同(5)式。因为研究模型目标为求 ΔT 使ERP项目总体实施时间最小,所以使(5)式最小的 ΔT 应有较大的生存概率。因此,定义第 i 个个体入选种群的概率为

$$p(\Delta T_i) = 1 - \frac{T_{\text{总}}(\Delta T_i)}{\sum_{j=1}^m T_{\text{总}}(\Delta T_j)} \quad (13)$$

其中, m 为种群中的个体总数, j 为种群中的第 j 个个体。

(3)终止规则。因为本研究模型目标值没有办法事先确定,所以采用观察适应度变化趋势的方法进行终止判定。当遗传算法性能没有办法显著提高时,判定计算终止。即

$$|T_{\text{总}}(k+1)_{\text{min}} - T_{\text{总}}(k)_{\text{min}}| \leq \delta \quad (14)$$

其中, $T_{\text{总}}(k+1)_{\text{min}}$ 为第 $(k+1)$ 轮求解中 $T_{\text{总}}$ 的最小值, $T_{\text{总}}(k)_{\text{min}}$ 为第 k 轮求解中 $T_{\text{总}}$ 的最小值, δ 为事先规定的终止数。当 $T_{\text{总}}$ 值不再发生明显的改变时(改变的幅度小于 δ),计算终止。

由于在学习曲线模型各参数中只有培训时间 t_1 属于企业方可以直接控制的变量,而不能直接对 ΔT 进行控制,因此只有通过(4)式将求解后得到的 ΔT 转换为培训时间才对企业具有现实意义,这也是本研究将重点立足于培训时间的重要原因之一。

5 案例应用

近年来哈尔滨某汽车零部件制造企业发展迅速,传统手工方式已难以满足企业发展的需求,大量库存积压、生产成本核算不准确、生产计划混乱等情况逐渐显现,并已经开始对企业决策和未来发展产生比较严重的威胁。为解决这一问题,企业方决定通过实施ERP项目来规范企业内部流程,并对物流、现金流、信息流进行有效集成,以解决当前管理混乱的问题。经过对不同类型ERP软件功能进行了解,企业方认为SAP Business One软件可以很好的满足需求。但不同咨询公司给出的项目实施天数以及相应的咨询费用之间存在着较大差异,使企业方难以决策。为解决这一问题,该企业向某SAP Business One研究中心寻求帮助,研究中心派出5位实施顾问,对企业进行调研,对ERP实施过程需要完成的工作量进行测算。根据以往的项目经验,实施顾问认为从企业的规模和工作量上判断,完全由顾问完成

该项目所需要的理论最小实施时间为140天(20周)。考虑到企业方参与到ERP实施项目中的员工数量为10人左右,如果企业方实施团队中的关键用户在项目初期就能够达到顾问的水平,以最大工作效率参与到ERP实施项目中,则完成该项目的理论最短时间 T_0 为

$$T_0 = \frac{1}{\frac{1}{20 \times 5} \times 10} = 10 \text{周} = 70 \text{天}$$

通过前期对该企业的调研,得到企业在硬件资源的便利性、基础数据编码质量、领导者信息化素质和员工的信息化能力4个方面的得分如表3所示。

表3 企业信息化基础评测
Table 3 Evaluation of Enterprise Information Foundation

一级指标	二级指标	指标得分
硬件资源的 便利性	计算机设备拥有率	2
	局域网的建设水平	1
基础数据 编码质量	数据编码的完整性	1
	数据编码的一致性	1
领导者信息 化素质	领导者对信息化项目的 重视程度	2
	领导者对信息化项目的 管理经验	0
员工的信息 化能力	员工的信息化知识	1
	员工的信息系统使用经验	0

通过表3的打分结果可以判断该企业的信息化基础水平总得分为 $S = 8$ 分。根据(7)式的测评方法,得到该企业在实施ERP系统初期的工作效率 $Pt_0 = \frac{S}{40} \cdot Pt_1 = 0.2Pt_1$,则(5)式可表示为

$$T_{\text{总}}(\Delta T) = \frac{1}{k} \ln \frac{4[1 - e^{-k(T_0 + \Delta T)}]}{5k\Delta T} + T_0 + \Delta T \quad (15)$$

通过调研发现,如果企业方进行ERP实施,按照目前企业工作职责分工,实施过程基础工作(如BOM和基础数据准备、MRP运行等主要工作)集中在生产部门,构成了项目的关键路径,所以生产部门员工的学习能力将对项目进度产生最主要的影响。因此,实施顾问对生产部门员工进行短期的培训,并结合培训后的工作表现测算员工的平均工作效率 Pt 和最大工作效率 Pt_1 ,二者之比约等于0.5,通过对企业信息化基础水平进行测评,得到 $\frac{Pt_0}{Pt_1} = 0.2$,代入(11)式,估算得学习曲线系数 $k = 0.5$ 。在(6)式对应的限制条件下,通过遗传算法进行优化求解。

在求解前首先需要确定 ΔT 编码的位数并选取

初始种群。通过前期估算得到企业对应的理论最小实施时间 $T_0 = 70$,对应的二进制编码形式为1000110。考虑到 $\Delta T < T_0$,因此可以将 ΔT 表示为7位编码的形式。实验研究表明,种群规模一般选取在 $n \sim 2n$ 之间^[29]。由于本案例中对 ΔT 的编码长度为7,因此种群规模应该在7~14之间。本研究选择初始种群数目为10,在 $[0,70]$ 的范围内随机生成10个任意排列的7位二进制字符串,作为初始群体。遗传算法的具体求解步骤如下。

步骤1 设种群集合为 $N(t)$,则初始种群对应的 $t = 1$ 。参考(5)式计算种群 $N(t)$ 中的每个个体对应的适应函数值。

步骤2 参考(14)式,判断是否满足终止规则(在实际求解时令 $\delta = 0.0001$)。如满足终止规则,则转向步骤6;如不满足终止规则,则参考(13)式,计算 $N(t)$ 中的每个个体对应的生存概率,按照概率分布从 $N(t)$ 中随机选择10个个体构成新的群体 $N(t+1)$ 。

步骤3 $N(t+1)$ 中的10个个体通过两两交配,得到新群体 $CrossN(t+1)$ 。

步骤4 以较小的概率0.001,使个体(染色体)的一个基因发生突变,形成突变后的新群体 $MutN(t+1)$ 。

步骤5 令 $t = t+1, N(t) = MutN(t+1)$,返回步骤1。

步骤6 参考(4)式,计算培训时间 t_1 ,判断(6)式对应的限制条件是否成立。如成立,算法停止;否则重新生成初始种群,从步骤1开始运行程序。

为避免 k 值的测算误差对研究结果的影响,本研究同时对 $k = 0.4$ 和 $k = 0.6$ 进行灵敏度分析。将不同情况下的 k 值代入(5)式中,通过遗传算法进行优化求解,对遗传算法运行过程中每一代对应的最优 ΔT 由小到大排列,以 ΔT 为横坐标,以 ΔT 对应的项目整体周期为纵坐标,得到收敛趋势如图4所示。

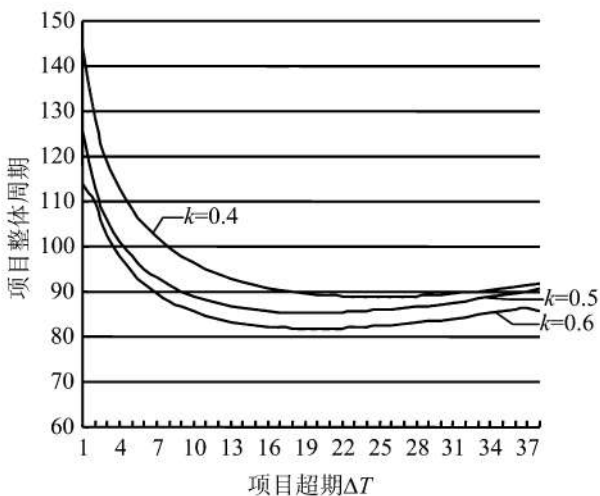


图4 模型结果收敛趋势

Figure 4 Convergency Trend Illustration of Decision Model

图4的收敛趋势表明,在不同的 k 值下,项目实施周期曲线具有相同的形状和收敛趋势,说明 k 值测算上的偏差不会对研究结果带来显著的影响。在不同的 k 值下,通过遗传算法进行优化求解得到的最优结果见表4。

表4 模型优化结果表
Table 4 Results of Decision Model

k 值	最优整体实施天数	对应最优培训时间
0.4	98 天	22 天
0.5	95 天	19 天
0.6	94 天	19 天

从表4可以看出,当 k 值为0.5时,该公司的最优ERP整体实施天数为95天,对应的培训时间为19天。由此可以得出,在保证培训效果的基础上,为最小化项目实施成本,企业方应该要求咨询公司提供累计19天左右的相关培训。

6 结论

本研究将学习曲线引入ERP实施的相关研究中,利用数学推导的方式,发现ERP项目整体时间与培训时间二者之间存在特定的数量关系。据此以项目实施周期和咨询成本最小为目标,建立ERP实施培训时间优化模型,将培训时间与ERP项目整体时间有效联系在一起,利用遗传算法对该模型进行优化求解。实际案例应用表明,本研究建立的模型能在企业内部得到较好的应用,辅助企业合理的项目计划,确定最优的培训时间,进而有效地缩短ERP项目的实施周期。

本研究将学习曲线引入到ERP实施的研究中,基于学习曲线理论建立ERP实施培训时间决策模型,为后续的深入研究提供理论框架;在已有研究的基础上,进一步考虑企业在项目初始阶段的工作效率对ERP实施周期的影响,通过衡量企业的信息化基础水平间接测算企业的初始工作效率,扩展模型的应用范围;从行为导向的实证研究结果出发,在模型中限定培训时间的范围,解决多个近似解之间的取舍问题,在一定程度上突破了传统数学建模方法中前提假设过强、与现实不符的瓶颈;通过遗传算法对模型进行优化求解,并给出遗传算法的具体求解步骤,有效地简化了模型的求解过程。

将本研究成果在现实环境中进行实验性应用,取得较好的效果。实验应用过程能够将理论与实际应用联系在一起,使本研究成果的有用性得到较好的证实,为本研究的理论模型在实践中的推广应用奠定基础。

本研究假设企业方实施团队的工作效率随时间

呈指数上升趋势变化,没有考虑员工在学习过程中的遗忘性,后续研究可考虑在模型中加入遗忘系数,更准确地刻画员工工作效率随时间变化的趋势;没有区分培训阶段和实施阶段的咨询费用,对于某些企业来说这两个阶段的费用可能存在一定的差异,后续研究可考虑将两个阶段的费用分开,对模型进行优化求解。

参考文献:

- [1] Jacobson S, Shepherd J, D' Aquila M, Carter K. The Market Sizing Report: 2006-2011 [R]. Boston, MA: AMR Research, 2007:1-10.
- [2] Baccarini D, Salm G, Love P E D. Management of Risks in Information Technology Projects [J]. *Industrial Management and Data Systems*, 2004, 104 (3/4):286-295.
- [3] Aloini D, Dulmin R, Mininno V. Risk Management in ERP Project Introduction: Review of the Literature [J]. *Information & Management*, 2007, 44(6):547-567.
- [4] Grabski S V, Leech S A. Complementary Controls and ERP Implementation Success [J]. *International Journal of Accounting Information Systems*, 2007, 8(1):17-39.
- [5] Haines M N, Goodhue D L, Khosrowpour M. ERP Implementations: The Role of Implementation Partners and Knowledge Transfer [C] // *Challenges of Information Technology Management in the 21st Century*. Idea Group Publishing, 2000.
- [6] Consulting D. ERP's Second Wave: Maximizing the Value of ERP Enabled Processes [R]. Atlanta, GA: Deloitte Consulting, 1999.
- [7] 王惠芬, 邓景毅. ERP 系统实施的收费依据分析 [N]. *中国企业报*, 2001-09-19(3).
Wang H F, Deng J Y. Analysis of ERP Implementation Fees Basis [N]. *China Enterprise News*, 2001-09-19(3). (in Chinese)
- [8] Koh S C L, Gunasekaran A, Cooper J R. The Demand for Training and Consultancy Investment in SME-specific ERP Systems Implementation and Operation [J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 122(1):241-254.
- [9] Wang E T G, Chen J H F. Effects of Internal Support and Consultant Quality on the Consulting Process and ERP System Quality [J]. *Decision Support Systems*, 2006, 42(2):1029-1041.
- [10] Rajagopalan B, Kenneth M Y, David P D, Mohan T. Enablers of Enterprise Systems Training Success—An Exploratory Investigation [J]. *International Journal of Business Information Systems*, 2007, 2(3):250-265.
- [11] Wright T P. Factors Affecting the Cost of Airplanes [J]. *Journal of Aeronautical Science*, 1936, 3(4):122-128.
- [12] Yelle L E. The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey [J]. *Decision Sciences*, 2007, 10(2):302-328.
- [13] 陈志祥. 学习曲线及在工业生产运作研究中的应用综述 [J]. *中国工程科学*, 2007, 9(7):82-88.
Chen Z X. Learning Curve and Its Application in Production Operational Research [J]. *Engineering Science*, 2007, 9(7):82-88. (in Chinese)
- [14] 杨玉凤, 吴秀芹, 卜华. 学习曲线在成本预测中的应用 [J]. *淮海工学院学报*, 2000, 9(2):74-76.
Yang Y F, Wu X Q, Pu H. Application of Learning Curve in Cost Estimation [J]. *Journal of Huaihai Institute of Technology*, 2000, 9(2):74-76. (in Chinese)
- [15] 谢康, 吴清津, 肖静华. 企业知识分享, 学习曲线与国家知识优势 [J]. *管理科学学报*, 2002, 5(2):14-20.
Xie K, Wu Q J, Xiao J H. Knowledge Sharing, Learning Curve and Knowledge Advantage of Nations [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2002, 5(2):14-20. (in Chinese)
- [16] Butler J E. Theories of Technological Innovations as Useful Tools for Corporate Strategy [J]. *Strategic Management Journal*, 1988, 9(1):15-29.
- [17] Cioffi D F. A Tool for Managing Projects: An Analytic Parameterization of the S-curve [J]. *International Journal of Project Management*, 2005, 23(3):215-222.
- [18] Ngwenyama O, Guergachi A, McLaren T. Using the Learning Curve to Maximize IT Productivity: A Decision Analysis Model for Timing Software Upgrades [J]. *International Journal of Production Economics*, 2007, 105(2):524-536.
- [19] Plaza M, Ngwenyama O K, Rohlf K. Learning and Performance in New Technology Implementation: A Comparative Analysis of Learning Curves and Implications for IS Project Management [R]. Toronto: Ryerson University, 2007.
- [20] Plaza M, Rohlf K. Learning and Performance in ERP Implementation Projects: A Learning-curve Model for Analyzing and Managing Consulting Costs [J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 115(1):72-85.
- [21] Plaza M, Ngwenyama O K, Rohlf K. A Comparative Analysis of Learning Curves: Implications for New Technology Implementation Management [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 200(2):518-528.

- [22] Dardan S, Busch D, Sward D. An Application of the Learning Curve and the Nonconstant-growth Dividend Model: IT Investment Valuations at Intel Corporation [J]. *Decision Support Systems*, 2006, 41(4): 688-697.
- [23] Miranda R, Kavanagh S, Roque R. Technology Needs Assessments: Evaluating the Business Case for ERP and Financial Management Systems [R]. Chicago: Government Finance Officers Association, 2002.
- [24] Robey D, Boudreau M C, Ross J. Learning to Implement Enterprise Systems: An Exploratory Study of the Dialectic of Change [R]. Cambridge, MA: MIT, 2000.
- [25] 倪明. 企业信息化水平评价模型及实证研究 [J]. *情报学报*, 2008, 27(5): 761-771.
Ni M. Evaluation Model of Enterprises Informatization Level: An Empirical Study [J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2008, 27(5): 761-771. (in Chinese)
- [26] 邱长波, 张佳, 吕连升. 企业信息化成熟度评价指标体系及影响因素研究 [J]. *情报科学*, 2008, 23(12): 1803-1805.
Qiu C B, Zhang J, Lv L S. Research on Evaluation Index and Influencing Factors for the Maturity of Enterprise Informatization [J]. *Information Science*, 2008, 23(12): 1803-1805. (in Chinese)
- [27] 仲秋雁, 闵庆飞, 吴力文. 中国企业ERP实施关键成功因素的实证研究 [J]. *中国软科学*, 2004, 2(1): 73-78.
Zhong Q Y, Min Q F, Wu L W. The Empirical Study of Critical Success Factors of ERP Implementation in China [J]. *China Soft Science*, 2004, 2(1): 73-78. (in Chinese)
- [28] 李玥, 冯玉强, 王华, 李一军. 遗传算法在网上谈判支持系统中的应用研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(6): 88-92.
Li Y, Feng Y Q, Wang H, Li Y J. Application of Genetic Algorithms in the Web-based Negotiation Support Systems [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2002, 22(6): 88-92. (in Chinese)
- [29] 杨利宏, 杨东. 基于遗传算法的资源约束型项目调度优化 [J]. *管理科学*, 2008, 21(4): 60-68.
Yang L H, Yang D. Optimization of Resource-Constrained Project Scheduling Problem Based on the Genetic Algorithm [J]. *Journal of Management Science*, 2008, 21(4): 60-68. (in Chinese)

Decision Model of Training Time in ERP Implementation Based on Learning Curve

SHAO Zhen, FENG Yu-qiang, LIU Yang

School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China

Abstract: By analyzing the characteristics of ERP implementation project, this paper introduces learning curve in the study of ERP implementation, and describes organizational performance variation pattern with time based on learning curve theory. On the basis of that, the whole ERP implementation project time is divided into primary training time and subsequent implementation time. A decision model of training time was built based on the objective of ERP project time and consultation cost minimization, so as to control and forecast the whole ERP project time through training time, in the meanwhile, genetic algorithm was applied to simplify the calculation procedure of the model. To differentiate the primary work efficiency of different enterprises, the primary work efficiency variable was added in the model, and was evaluated indirectly by enterprise information foundation level. Besides, a limitation condition of training time was added to solve the problem of multiple approximate optimal solutions according to the behavior-oriented empirical research results. The case study shows a satisfied predicted effect of the model, suggesting that the model can provide decision support for the enterprise in making project plan and establishing project investment budget.

Keywords: ERP implementation; training time; learning-curve; genetic algorithms

Received Date: May 10th, 2010 **Accepted Date:** July 26th, 2010

Funded Project: Supported by the Program for New Century Excellent Talents in University of Ministry of Education (NCET-06-0348)

Biography: SHAO Zhen, a Heilongjiang Harbin native (1983 -), is a Ph. D. candidate in the School of Management at Harbin Institute of Technology. Her research interests include enterprise informationization, e-commerce, etc. E-mail: shaozhenlily@yahoo.com.cn □