

doi: 10.3969/j.issn.1000-7695.2015.15.040

需求扰动下闭环供应链收益共享契约协调仿真研究

张玉春¹, 郭宁², 周金华¹

(1. 兰州理工大学经济管理学院, 甘肃兰州 730050;

2. 西北工业大学管理学院, 陕西西安 710072)

摘要: 以系统动力学为基本研究方法, 运用收益共享契约对突发事件引起需求扰动的三级闭环供应链系统进行协调, 通过对契约决策系统动力学模型仿真结果的定量分析, 给出各节点企业协调应对需求扰动的最优契约策略。研究发现: 收益共享契约可以很好地协调需求扰动下的闭环供应链, 但在契约实施过程中, 契约参数的设定尤为重要, 可以为实际中闭环供应链的应急管理提供有益的指导。

关键词: 需求扰动; 收益共享契约; 闭环供应链; 系统动力学

中图分类号: F273

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695(2015)15-0211-05

Simulation for Closed-loop Supply Chain Revenue-sharing Contract Coordination under Demand Disturbance

ZHANG Yuchun¹, GUO Ning², ZHOU Jinhua¹

(1. School of Economics and Management, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. Department of Administration, Northwest Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In this paper, we apply revenue-sharing contract to coordinate three-level closed-loop supply chain which is under demand disturbance caused by emergency event based on SD. After quantitative analysis on contract decision system dynamics model's simulation results, the optimal contract strategy is given to each node enterprise to coordinate demand disturbances. Research show that revenue-sharing contract can well coordinate closed-loop supply chain which is under demand disturbance. However, setting contract parameter is very important. This research provides beneficial guidance for closed-loop supply chain emergency management.

Key words: demand disturbance; revenue-sharing contract; closed-loop supply chain; system dynamics (SD)

1 文献综述

近年来 9.11 恐怖事件、“非典”、三鹿奶粉事件、青海玉树大地震等各种突发事件频发对社会稳定和经济的稳定造成了十分严重的负面影响, 同时严重影响了供应链系统的运作。供应链系统如何应对突发事件具有非常重要的现实意义和指导作用, 成为人们关注的热点。目前我国学者关于应用契约协调应对闭环供应链突发事件的研究主要有: 王玉燕^[1-2]、覃艳华等^[3]、吴忠和等^[4]发现突发事件会打破原先闭环供应链的协调, 但经调整的契约可以协调应对突发事件, 减少闭环供应链的损失。徐畅等^[5]研究发现突发事件使供应链的利润流向发生改变, 但调整契约参数可以使闭环供应链具有抗突发

事件性。牟宗玉等^[6]发现当突发事件发生时, 原适用于稳定环境下的两部收费契约将不再对分散式决策下的闭环供应链起协调作用。孙静^[7]利用契约使得分散式决策闭环供应链分别在稳定环境和突发事件干扰下实现协调。学者大都采用微观经济学和博弈论的方法探讨运用契约对闭环供应链系统进行应急协调。张宁等^[8]认为供应链突发事件风险被分为 3 种类型: 供应中断、运营中断和需求突变, 对于需求突变突发事件风险, 供应链企业纵向协调是有效的应急策略, 应急契约可以实现供应链上下游企业的风险共担。

本文将运用系统动力学的建模方法和原理, 使用收益共享契约对突发事件引起需求扰动的三级闭环供应链系统进行协调, 构建突发事件引起需求变动的闭环供应链的系统动力学模型和加入收益共享

收稿日期: 2014-07-18, 修回日期: 2015-03-23

基金项目: 国家自然科学基金项目“单基站纯方位机动多目标跟踪融合策略的研究”(1003ZGA035); 甘肃省自然科学基金项目“基于系统动力学的闭环供应链契约协调模型构建、仿真及应用研究”(1308RJA292)

契约后的协调模型，通过仿真分析比较了不同收益分配方案下，各级成员利润和闭环供应链整体利润的变化，为闭环供应链中各级成员协调应对需求变动的契约方选择提供参考。

2 需求扰动下三级闭环供应链系统建模

本文所构建的需求扰动下三级闭环供应链系统模型涉及一个制造商、一个零售商和一个第三方回收商。闭环供应链系统从制造商制造新产品开始，经零售商出售产品给客户，待产品使用寿命结束后，进入逆向供应链，回收商对废旧产品进行回收检测分类后，制造商对回收商回收的可再制造产品进行再制造，再制造使废旧产品重新获得使用价值，并再次进入正向供应链。

2.1 基本假设

本文构建的需求扰动下闭环供应链的系统动力学模型的假设条件如下：

(1) 只考虑使用寿命结束后废旧产品的回收和再制造问题，不考虑对回收产品的材料再生和废旧处理等问题。假定闭环供应链中制造商的制造能力、再制造能力，零售商的销售能力，回收商的回收能力，及各级成员的库存能力、运输能力都没有限制。

(2) 假定再制造产品和新产品完全相同，以同一价格同时满足市场需求；产品的单位零售价格服从一个均匀分布，这样的假定更加贴近实际；并假定需求扰动不会引起产品单位零售价格变动。

(3) 闭环供应链系统中，回收商废旧产品的回收率由对废旧产品的回收比例决定，假定回收商首先以一定的基准回收比例进行回收，制造商第一次进行再制造后，回收商开始根据制造商的再制造率预测制造商下一次的再制造订货率，进一步决定自己对废旧产品的回收比例，且回收比例是再制造订货率的线性增函数。随着环境政策开始对制造商的再制造选择产生越来越大的积极影响，本文引入环境政策指数——环境政策对回收商回收比例影响的效应指数，是时间的增函数。

(4) 设定库存量最低也要达到的安全库存，以保证库存量不为 0，更好地满足可能出现的随机需求。商家在订货时会对其下一级商家需求进行平滑处理，以平滑原变量的激烈起伏程度得到更加贴近真实趋势的平均值；同时，假定需求方的订单不会因发生缺货而撤销。

(5) 制造商、零售商和回收商都根据预测需求量和实际库存量调整下达生产计划，即，当库存量小于目标库存时，商家将对现有库存进行调节，以弥补现存库存差，将库存维持在目标水平；同时考虑平均需求量，以满足销售或订单的需要。

(6) 废旧产品的再制造成本小于新生产产品所花费的成本，因此，制造商在接到订货时优先通过再制造满足零售商需求，再制造无法满足的部分，制造商通过制造新产品满足之。

2.2 需求扰动下闭环供应链系统流图模型

在基本假设之上，本文构建的流图模型如图 1 所示。

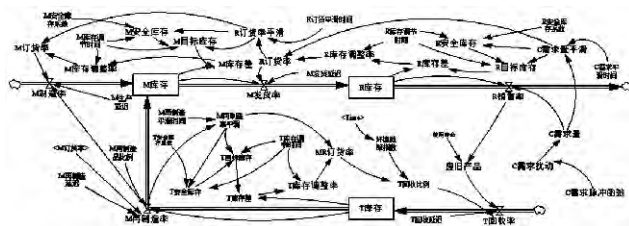


图 1 需求扰动下的闭环供应链系统流图模型

本文所构建的需求扰动下的闭环供应链系统流图模型在测试下各个变量的变化趋势与现实中的闭环供应链系统具有一致性，因此，该模型能够实现系统动态行为的真实再现。

3 需求扰动下闭环供应链的契约协调模型

1985 年 Pasternack^[9] 最早提出了供应链契约的概念，供应链契约是指通过提供合适的信息共享和激励措施，协调双方利益，优化销售渠道绩效或效益的有关条款。李新军等^[10]、邢光军等^[11] 研究了单一生产商、单一零售商的闭环供应链系统在分散化决策结构下的利润协调机制。陈菊红等^[12] 通过设计收入费用共享契约，实现了制造商、销售商和第三方物流服务商构成的 Stackelberg 再制造闭环供应链的协调。熊中楷等^[13] 建立了受专利保护的原制造商许可第三方再制造的闭环供应链模型，提出了第三方回收再制造的收益分享与费用分担契约的协调机制。

3.1 模型描述

在供应链中，收益共享契约是指供应商给销售商提供一个较低的批发价格以促使销售商订购更多的产品，销售商则将其收入的一部分返还给供应商，从而改进供应链的运作绩效。本文构建的闭环供应链收益共享契约是指制造商给零售商一个较低的批发价格以促使零售商订购更多的产品，零售商则将其收入的一部分返还给制造商；同时，回收商以较低的批发价格向制造商提供产品以促使制造商订购更多的产品，制造商将其产品收入的一部分返还给回收商。本文构建的闭环供应链收益共享契约协调模型的假设条件如下：

(1) 假定在收益共享契约下 M 与 T 之间的收入分配系数设定为 M 收入分配系数；R 与 M 之间的收入分配系数设定为 R 收入分配系数。

(2) 在收益共享契约下制造商给零售商的单位批发价格的优惠力度越大，则零售商订购率越高，为此引入 P 单位价格影响系数来表示价格对顾客需求量的影响程度。

(3) 在收益共享契约下回收商给制造商的单位采购价格的优惠力度越大，则制造商的再制造率越高，

为此引入 MR 单位采购价格影响系数来表示回收商单位价格的优惠力度对制造商再制造率的影响程度。

3.2 模型的基本方程

有关方程如下：

$$CLSC \text{ 利润} = M \text{ 利润} + R \text{ 利润} + T \text{ 利润};$$

$$M \text{ 利润} = M \text{ 总收入} - M \text{ 总成本}; R \text{ 利润} = R \text{ 总收入} - R \text{ 总成本}; T \text{ 利润} = T \text{ 总收入} - T \text{ 总成本};$$

$$M \text{ 总收入} = M \text{ 收入} - M \text{ 收入分配系数} \times M \text{ 收入} + R \text{ 收入} \times R \text{ 收入分配系数};$$

$$R \text{ 总收入} = R \text{ 收入} - R \text{ 收入} \times R \text{ 收入分配系数};$$

$$T \text{ 总收入} = T \text{ 收入} + M \text{ 收入分配系数} \times M \text{ 收入};$$

$$M \text{ 总成本} = \text{INTEG} (M \text{ 成本增加率}); \text{Initial Value} = 0;$$

$$M \text{ 成本增加率} = M \text{ 库存成本} + M \text{ 缺货成本} + MN \text{ 采购成本} + MN \text{ 生产成本} + M \text{ 运输成本} + MR \text{ 采购成本} + MR \text{ 生产成本};$$

$$M \text{ 收入} = \text{INTEG} (M \text{ 收入增加率}); \text{Initial Value} = 0;$$

$$M \text{ 收入增加率} = M \text{ 发货率} \times R \text{ 单位批发价};$$

$$R \text{ 收入} = \text{INTEG} (R \text{ 收入增加率}); \text{Initial Value} = 0;$$

$$R \text{ 收入增加率} = P \text{ 单位价格} \times R \text{ 销售率};$$

$$R \text{ 总成本} = \text{INTEG} (R \text{ 成本增加率}); \text{Initial Value} = 0;$$

$$R \text{ 成本增加率} = R \text{ 购货成本} + R \text{ 库存成本} + R \text{ 缺货成本} + R \text{ 运输成本} + R \text{ 销售成本};$$

$$T \text{ 收入} = \text{INTEG} (T \text{ 收入增加率}); \text{Initial Value} = 0;$$

$$T \text{ 收入增加率} = M \text{ 再制造率} \times MR \text{ 单位采购成本};$$

$$T \text{ 总成本} = \text{INTEG} (T \text{ 成本增加率}); \text{Initial Value} = 0;$$

$$T \text{ 成本增加率} = T \text{ 回收成本} + T \text{ 库存成本} + T \text{ 缺货成本} + T \text{ 运输成本}。$$

3.3 需求扰动下闭环供应链系统的收益共享契约协调模型

本文建立的收益共享契约下的系统协调模型如图 2 所示。

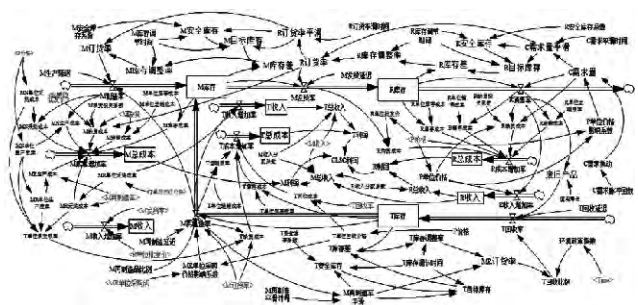


图 2 收益共享契约下的系统协调模型

4 需求扰动下闭环供应链系统的协调模型仿真分析

仿真设置：INITIAL TIME = 0 Week，FINAL TIME = 200 Week，TIME STEP = 1 Week；

SAVEPER = TIME STEP，表示仿真周期为 200 周，一周为一个步长，利用 Vensim PLE 软件进行仿真。

4.1 数值算例

为研究需要对算例做以下设定：

(1) 基本数值设定。C 需求量 = RANDOM UNIFORM (20 000 , 25 000 , 23 000) ；

P 价格 = RANDOM UNIFORM (10000 , 15000 , 12000) ；

T 单位回收价格 = 0.06 × P 价格；

MR 单位采购成本 = 1.5 × T 单位回收价格；

MR 单位生产成本 = 0.25 × MN 单位生产成本；

MN 单位采购成本 = 0.15 × P 价格；

MN 单位生产成本 = 0.2 × P 价格；

R 单位批发价 = 0.6 × P 价格；

R 缺货成本 = MAX (C 需求量 - R 销售率 , 0) × P 价格 × R 缺货损失系数；

M 缺货成本 = MAX (R 订货率 - M 发货率 , 0) × M 缺货损失系数 × R 单位批发价；

T 缺货成本 = MAX (M 订货率 - M 再制造率 , 0) × T 单位缺货成本 × T 缺货损失系数；

T 单位缺货成本 = MN 单位采购成本 + MN 单位生产成本 - MR 单位生产成本 - MR 单位采购成本；

M 缺货损失系数 = 0.01；R 缺货损失系数 = 0.01；T 缺货损失系数 = 0.01；

M 单位运输成本 = 50；M 单位库存成本 = 30；R 单位库存成本 = 10；R 单位销售成本 = 200；

R 单位运输成本 = 30；T 单位库存成本 = 10；T 单位运输成本 = 20。

(2) 契约参数设定：P 单位价格影响系数与 C 需求量的关系，我们引入表函数表示：P 单位价格影响系数 = WITH LOOKUP (P 价格 - P 单位价格 , ([(0 , 0) - (2000 , 10)] , (0 , 1) , (300 , 1.05) , (700 , 1.15) , (1000 , 1.25) , (2000 , 1.4))) ；

MR 单位采购价格影响系数的设定与模型的仿真相互对应。即有：MR 单位采购价格影响系数 = IF THEN ELSE (MR 单位采购成本 = 1.5 × T 单位回收价格 , 1 , IF THEN ELSE (MR 单位采购成本 = 1.3 × T 单位回收价格 , 1.2 , 1.4)) ；在系统动力学仿真过程中主要考虑了以下 3 种情况，如表 1 所示。

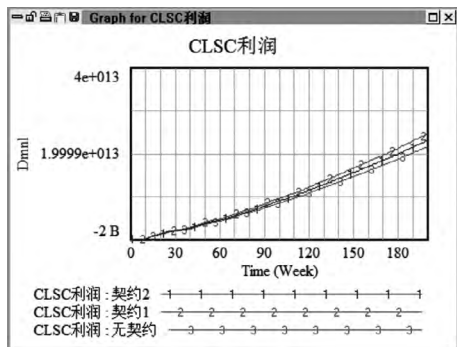
表 1 收益共享契约的不同分配方案

参数 契约	M 收入 分配系 数/%	R 收入 分配系 数/%	MR 单位 采购成本	R 单位批发价	P 单位价格
无契约	0	0	1.5 × T 单位回收价格	0.6 × P 价格	P 价格
契约 1	1	9	1.1 × T 单位回收价格	0.5 × P 价格	0.92 × P 价格
契约 2	2	12	0.9 × T 单位回收价格	0.45 × P 价格	0.88 × P 价格

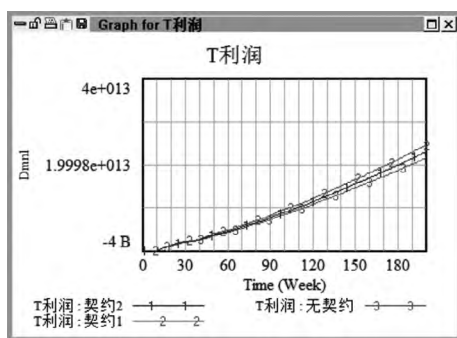
4.2 不同收入分配方案下的仿真分析

在前文建立的收益共享契约协调模型的基础上，结合数值算例进行仿真分析。研究不同收益共享契约参数对闭环供应链整体、零售商、制造商、回收

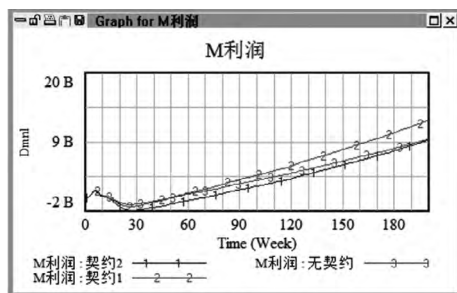
商的利润的影响, 分析各级成员的决策行为, 并制定最优契约参数如图 3 所示。



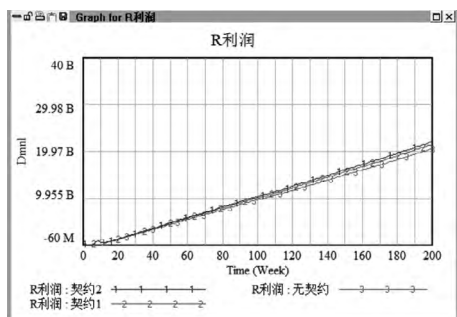
(a) CLSC利润



(b) 回收商利润



(c) 制造商利润



(d) 零售商利润

图 3 不同收入分配方案下的利润

由图 3 (a) 可知, 有契约加入的 CLSC 利润总是高于无契约时的值, 契约实现了闭环供应链利润的提高, 收益共享契约下各级成员收益大于无协调机制下的收益; 且契约 1 下的 CLSC 利润高于契约

2, 即契约方案 1 对整体利润的协调效力高于契约方案 2, 不同契约参数的协调效力是不同的。且随仿真时间的延续, 不同收入分配方案下 CLSC 利润的差距越发显著。

由图 3 (b) 可知, 有契约加入的 T 利润总是高于无契约时的值, 契约对回收商起到了协调作用, 契约 1 下 T 利润整体高于契约 2, 即契约方案 1 较契约方案 2 对回收商的协调效力更好。回收商选择契约 1 或契约 2, 回收商利润都会有所提高, 但回收商为了追求自身利润的最大化, 更愿意选择契约 1。

由图 3 (c) 可知, 在仿真周期内无契约与契约 1 下的制造商利润均高于契约 2 下的制造商利润; 契约 2 下的制造商利润小于无契约下的制造商利润, 这说明有时不恰当的契约参数不仅无法发挥协调效力, 反而有可能破坏某节点成员原先已经达到的协调状态; 同时应该注意到的是契约 2 下的制造商利润随仿真时间不断地逼近无契约下的制造商利润。0 周至约 40 周, 无契约下的制造商利润高于契约 2; 40 周后, 契约 1 下的 M 利润大于无契约下的 M 利润, 且随着仿真时间的延续, 两者间的差距越发显著, 因此, 制造商更愿意选择契约 1。

由图 3 (d) 可知, 契约 1 和契约 2 下的 R 利润高于无契约时的值, 即两种契约方案均提高了零售商的利润, 故契约 1 和契约 2 都可以作为零售商的契约选择, 但零售商为了追求自身利润的最大化, 更愿意选择契约 2。

结合图 3 分析, 本文认为契约 1 应为闭环供应链系统的选择方案, 因为在契约 1 下 CLSC 利润及各级成员利润均比无契约情况的利润高, 较好地保障了闭环供应链各级成员的利益。实施契约是为了追求闭环供应链的整体利润最大化, 有时一定的契约参数下可能出现某一节点成员的利润达到最大, 而整体利润有可能不是最优的; 有时一定的契约参数下实现了整体利润的最大化, 然而却可能是以某一节点成员的利润牺牲为基础的; 有时一定的契约参数下整体利润实现最大化, 然而某一节点成员的利润却没有达到最大化。因此, 一般选择各节点成员利润都提高的契约参数, 即该契约下的各级成员利润高于无契约情形下的利润, 这也是各节点成员之所以会选择契约的基础; 对于不同契约参数下各节点成员利润都提高的情况, 选择整体利润更大的契约参数, 也就是说各节点成员只有在满足自身利益的基础上才会考虑整体利益。各节点成员不仅需要考虑自身的决策, 而且要考虑其他节点的决策, 这样才有可能保证闭环供应链的整体利润; 而在契约方案的具体执行过程中, 契约参数的设定取决于各节点成员之间的博弈和谈判, 决定着各节点成员与闭环供应链整体是否实现双赢。

本文通过对所构建的短暂需求扰动下的闭环供应链契约协调模型进行仿真模拟, 通过对结果的比较分析得出: (1) 收益共享契约可以协调需求扰动

下的闭环供应链,促使闭环供应链中的各级成员都按照更优的策略进行决策,不仅可以改善各级成员的收益,同时也可以提高整个闭环供应链的运营绩效;(2)合适的契约参数可以很好地协调闭环供应链,不合理的契约参数不仅无法达到协调效果,反而有可能会降低闭环供应中各级成员及整体的收益,甚至使之低于无契约下的收益水平;(3)不同契约的协调效力是有差别的,因此通过建立模型对不同契约的实施效果进行仿真分析,可以作为实际闭环供应链实施契约协调的评估。

5 结语

系统动力学被称为管理决策的“实验空间”,它通过对现实系统的模拟,构建出结构模型,通过设定参数及仿真实验,可以为解决实际问题提供切实有效的办法。本文运用收益共享契约协调需求扰动下的三级闭环供应链系统。结合算例对不同收益共享契约方案下的系统动力学模型进行仿真以研究契约方案的协调效果,得出相对较优的收益共享契约方案。研究发现:契约可以很好地协调需求扰动下的闭环供应链;合理的契约参数将会使包含制造商、零售商、第三方回收商的闭环供应链成员得到协调,提高各级成员及闭环供应链的整体效益。但契约参数设置的合理与否至关重要,不合理的契约参数不仅无法达到协调效果,反而有可能会降低闭环供应中各级成员及整体的收益,甚至使之低于无契约下的收益水平。因此,在契约实施过程中,契约参数的设定尤为重要。

参考文献:

- [1] 王玉燕. 收益共享契约下闭环供应链应对突发事件的协调分析 [J]. 中国管理科学, 2009 (12): 78-83
- [2] 王玉燕. 需求与成本双扰动时闭环供应链的生产策略和协调策略 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33 (5): 1149-1157
- [3] 覃艳华, 曹细玉. 回馈与惩罚契约下闭环供应链应对突发事件的协调性研究 [J]. 管理工程学报, 2012 (3): 96-101
- [4] 吴忠和, 陈宏, 赵千. 基于风险偏好及补偿的闭环供应链回购契约应急协调 [J]. 科技与产业, 2012, 12 (10): 109-113
- [5] 徐畅, 杨东红, 李九斤. 突发事件对三级闭环供应链运行绩效的影响研究——以数量折扣契约为约束 [J]. 科技与管理, 2012, 14 (2): 91-94
- [6] 牟宗玉, 曹德弼, 刘晓冰, 等. 突发事件下两部收费契约协调闭环供应链研究 [J]. 运筹与管理, 2013, 22 (5): 35-42
- [7] 孙静. 突发事件下两部收费契约协调闭环供应链研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2013
- [8] 张宁, 刘春林. 应对供应链突发事件风险的企业协作应急策略 [J]. 商业经济与管理, 2011 (3): 17-23
- [9] PASTERNAK B A. Optimal pricing and returns policies for perishable commodities [J]. Marketing Science, 1985 (4): 166-176
- [10] 李新军, 林欣怡, 达庆利. 闭环供应链的收入共享契约 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2008, 38 (3): 535-539
- [11] 邢光军, 林欣怡, 达庆利. 柔性订购契约下的闭环供应链系统利润协调机制研究 [J]. 软科学, 2009, 23 (8): 31-35
- [12] 陈菊红, 史成东, 郭福利. 第三方负责回收再制造闭环供应链契约设计 [J]. 工业工程与管理, 2010, 15 (21): 17-21
- [13] 熊中楷, 申成然, 彭志强. 专利保护下再制造闭环供应链协调机制研究 [J]. 管理科学学报, 2011, 14 (6): 76-85

作者简介: 张玉春 (1971—), 男, 甘肃靖远人, 教授, 博士, 主要研究方向为管理决策理论与方法。郭宁 (1987—), 女, 陕西宜君人, 博士研究生, 主要研究方向为工业工程。周金华 (1991—), 女, 甘肃靖远人, 硕士研究生, 主要研究方向为管理决策与系统分析。

(上接第 210 页)

是管理体制上存在的偏差却可导致整个科技查新行业的衰退。本文提出了以科技管理部门作为查新委托人的科技查新管理模式,可以使科技查新人员真正抱着否定与怀疑的态度开展科技查新工作,真正理顺科技查新业务流程,切实根治查新报告的形式化弊端,使科技查新行业健康发展。

参考文献:

- [1] 徐彩荣, 李晓轩. 国外同行评议的不同模式与共同趋势 [J]. 科学与科学技术管理, 2005 (2): 28-33
- [2] 王艳芳, 白波. 国外科技项目评审调研及对我国的启示 [J]. 技术与创新管理, 2012 (3): 289-292
- [3] 王晓丽, 董月玲, 季淑娟. 论科技查新的技术标准与质量控制 [J]. 科技管理研究, 2014 (10): 243-246
- [4] 石颖. 浅谈科技查新工作中的伦理问题 [J]. 现代情报, 2006 (2): 115-117
- [5] 王丽萍. 科技查新业务中的查新员与委托人沟通研究 [J]. 情报科学, 2006 (2): 259-262

- [6] 程晓艳. 浅议科技查新工作中沟通的作用及相对性 [J]. 图书馆工作与研究, 2012 (9): 59-61
- [7] 刘佳, 李恩科. 科技查新工作的博弈分析 [J]. 情报探索, 2007 (11): 59-61
- [8] 方宜仙, 鄢朝晖. 科技查新工作中不完全信息博弈研究 [J]. 图书馆理论与实践, 2004 (4): 32-34
- [9] 任波, 侯鲁川. 决定科技查新质量的关键因素探讨 [J]. 科技管理研究, 2010 (5): 216-217
- [10] 李红梅. 科技查新对技术创新的促进作用 [J]. 现代情报, 2009 (8): 188-190
- [11] 张伟聪. 教育部科技查新工作站调查与分析 [J]. 图书馆论坛, 2014 (5): 36-40
- [12] 丁蕴一, 张伯秋, 陈巨, 等. 查新报告质量评定标准 [J]. 情报科学, 2004 (10): 1223-1225
- [13] 王世雯, 肖雯. 查新报告质量的评价体系研究 [J]. 情报理论与实践, 2010 (6): 94-97

作者简介: 刘荫明 (1972—), 男, 吉林松原人, 硕士, 馆员, 主要研究方向为图书情报学。